

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 6 月 30 日 (30.06.2005)

PCT

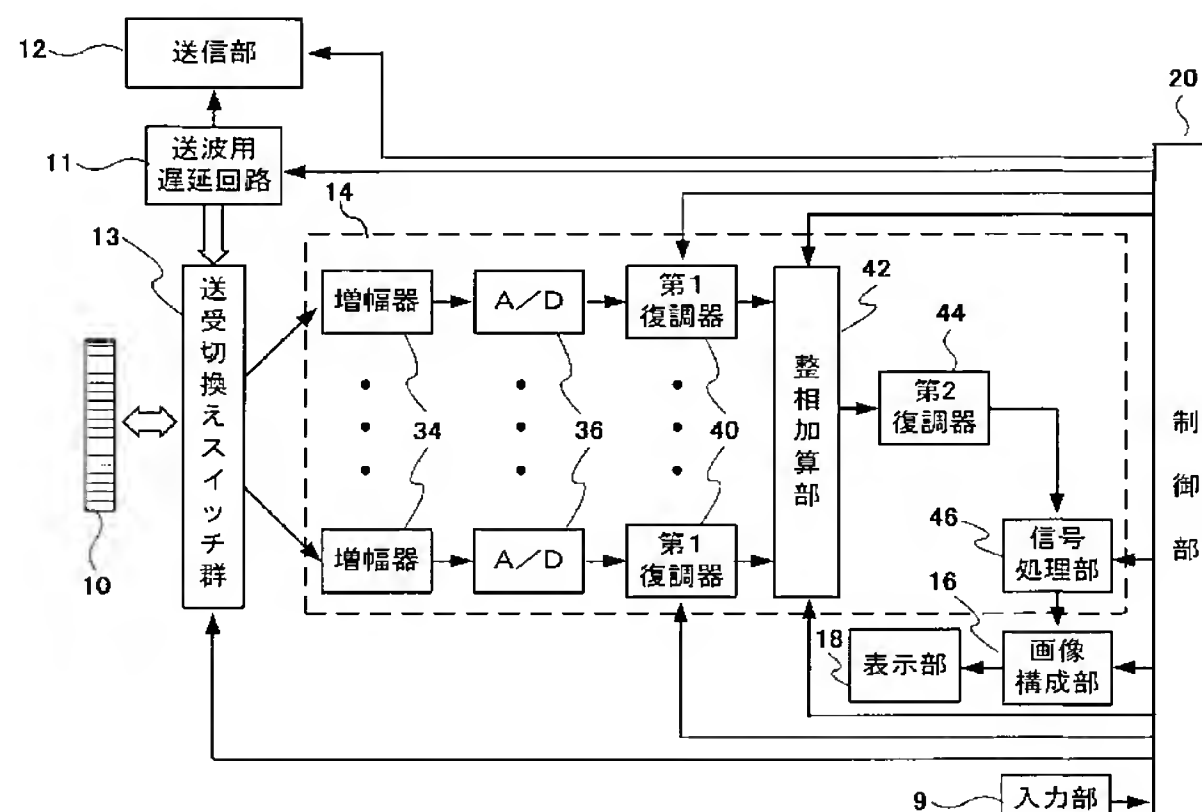
(10) 国際公開番号  
WO 2005/058167 A2

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: A61B 8/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/017866
- (22) 国際出願日: 2004 年 12 月 1 日 (01.12.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-402936 2003 年 12 月 2 日 (02.12.2003) JP  
特願2004-175639 2004 年 6 月 14 日 (14.06.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立メディコ (HITACHI MEDICAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1010047 東京都千代田区内神田一丁目 1 番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 浅房 勝徳 (ASA-FUSA, Katsunori) [JP/JP]; 〒2770945 千葉県東葛飾郡沼南町しいの木台 2-1 7-1 2 Chiba (JP). 篠村 隆一 (SHINOMURA, Ryuichi) [JP/JP]; 〒3550004 埼玉県東松山市沢口町 9-1 2 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 多田 公子, 外 (TADA, Kimiko et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 6 番 1 5 号 グローリアビル 9 F Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,

/ 続葉有 /

(54) Title: ULTRASONOGRAPHIC DEVICE

(54) 発明の名称: 超音波診断装置



12... TRANSMISSION UNIT  
11... TRANSMISSION WAVE DELAY CIRCUIT  
13... TRANSMISSION/RECEPTION SWITCHING GROUP  
34... AMPLIFIER  
40... FIRST DEMODULATOR  
42... INTEGER PHASE ADDITION UNIT

44... SECOND DEMODULATOR  
46... SIGNAL PROCESSING UNIT  
18... DISPLAY UNIT  
16... IMAGE CONFIGURATION UNIT  
9... INPUT UNIT  
20... CONTROL UNIT

(57) Abstract: It is possible to realize encoded transmission/reception for lowering the time side lobe while suppressing increase of the circuit size. A transmission signal corresponding to a synthesized modulation code string which has combined a plurality of modulation code strings is outputted. A reception unit demodulates the reception signal stepwise by a plurality of demodulators. Thus, the demodulator can be separated into a plurality of stages. Accordingly, with the circuit size totaling the number of calculation circuits of the demodulators, it is possible to obtain the time side lobe reduction effect equivalent to the number of circuits as a demodulator of a plurality stages multiplied by the number of calculation circuits.

(57) 要約: 回路規模の増大を抑えつつ、タイムサイドローブを低減する符号化送受信を実現する。送信信号として、複数の変調符号列とを合成した合成変調符号列に対応した送信信号を出力する。受信部は、受信信号を複数の復調器によって段階的に復調する。これにより、復調器を複数段に分けることができるため、複数復調器の演算回路数を合計した回路規模で、複数段の復調器の演算回路数を掛け合わせた回路数のものと同等のタイムサイドローブ低減効果が得られる。

WO 2005/058167 A2



NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書なし ; 報告書を受け取り次第公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 超音波診断装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、符号化送受信を行う超音波診断装置に関する。

### 背景技術

[0002] 超音波診断装置は、送信部から探触子に駆動信号を出力することにより、探触子から被検体に超音波を送波すると共に、被検体から発生する反射エコー信号を探触子によって受信し、受信信号に基づき超音波像を再構成する。探触子は振動子のアレイからなり、超音波を受波する際に各振動子の受波信号を所定時間ずつ遅延させて加算することにより、被検体内の超音波の焦点位置をコントロールすることができる。遅延時間を変化させることにより焦点位置をずらす方法は、ダイナミックフォーカスと呼ばれている。

[0003] 超音波診断装置において送波される超音波の波形は、距離分解能を向上させるために時間軸方向に短いパルス波であることが望ましく、かつ、SN比(Signal Noise Ratio)を向上させるために信号強度が大きい波形を用いるのが望ましい。しかしながら、超音波強度の最大値は、生体に影響を与えない程度に抑制する必要があるため、超音波の最大強度を抑制しつつ送信エネルギーを増大させるために、レーダー分野で普及している符号化送信技術を超音波診断装置にも適用することが、例えば特開平2003-225237号公報等に記載されている。この技術では、ピーク強度の大きな単パルス波形を符号化により個々のピーク強度の小さい時間軸方向の信号列に拡散させて被検体に送信し、被検体内で反射された信号を受波したのち、復調フィルタにより時間軸方向に収束させる復号化処理を行い、ピーク強度の大きいパルス波形に戻すことが行われる。

[0004] 符号としては、レーダー分野で広く知られたバーカー(Barker)符号やゴレイ(Golay)符号等を用いることができ、復号化フィルタとしては自己相関処理を行う自己相関フィルタや不整合フィルタ等を用いることができる。

特許文献1:特開平2003-225237号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0005] しかしながら、従来の符号化送受信技術では、符号化により時間軸方向に拡散させた超音波エネルギーを復号化により収束させる時に、本来得るべきパルス波形の時間軸方向の前後に超音波エネルギーが残存し、タイムサイドローブと呼ばれる不要信号が生じるという問題がある。復調フィルタとして演算の回数(次数)が大きい高次フィルタを用いることにより、タイムサイドローブを低減すること可能であるが、演算回数が多いため回路規模が増大する。
- [0006] また、超音波エネルギーを効率よく拡散させるために、符号要素の数を増やすと、符号要素の数に対応して受信信号が時間軸方向に長くなる。このため、ダイナミックフォーカスのフォーカス段の切り換え等の断続的な切り換え処理が、受信信号の途中で行われる可能性が高くなり、切り換え処理に伴って受信信号にタイムサイドローブが高レベルで発生する現象が生じる。
- [0007] 本発明の課題は、回路規模の増大を抑えつつ、タイムサイドローブを低減する符号化送受信を実現することにある。

### 課題を解決するための手段

- [0008] 上記課題を解決するため、本発明の超音波診断装置は、被検体との間で超音波を送受する探触子と、探触子を駆動するための送信信号を出力する送信部と、探触子が受波した受信信号を処理する受信部と、受信部の出力する受信信号を用いて超音波像を再構成する画像構成部とを有する。送信部は、複数の変調符号列を合成した合成変調符号列に対応した送信信号を作成して出力する。受信部は、受信信号について合成変調符号列による変調を復調する復調器を備える。このように複数の変調符号列を合成した合成変調符号列を用いることにより、復調器を複数段に配置して、合成変調符号列を段階的に復調することが可能になる。このため、複数段の復調器の演算回路数を合計した回路規模で、複数段の復調器の演算回路数を掛け合わせた回路数と同等のサイドローブ低減効果が得ることができる。
- [0009] 上述の送信部は、合成変調符号列の符号要素の係数に基づいて波形を順次出力することにより、送信信号を生成する構成にすることができる。

- [0010] また、上記合成変調符号列は、第1の変調符号列と第2の変調符号列とを合成したものをを用いることができる。この場合、受信部は、受信信号について第1の変調符号列による変調を復調するための第1復調器と、受信信号について第2の変調符号列による変調を復調するための第2復調器とを有する構成とする。受信信号は第1および第2復調器の一方の復調器により復調された後、さらに他方の復調器によりさらに復調される。
- [0011] このとき、第1の変調符号列の符号間隔として、第2の変調符号列の符号間隔より大きいものをを用いることができる。この場合、第1の復調器は、第2の復調器よりも探触子側に配置し、探触子から出力された受信信号を、第1の復調器によって復調した後、第2の復調器によりさらに復調する構成とすることができる。これにより、符号間隔の大きな変調符号が先に復調されるため、その後に施される不連続処理、例えばフォーカス段の切り換えや開口数の切り換えや増幅率の切り換えの影響による復調エラーが低減でき、不連続処理によるタイムサイドローブを低減できる。
- [0012] 例えば、第1復調器を、フォーカス段の切り換えを行う整相加算部で整相加算される前の受信信号を復調する位置に配置し、第2復調器は、整相加算部で整相加算された後の受信信号を復調処理する位置に配置することができる。これにより、フォーカス段の切り替えによる復調エラーを低減でき、タイムサイドローブを低減できる。しかも、第2復調器を整相加算部の後段に配置したことにより回路規模も大幅に低減できる。
- [0013] また、第1および第2復調器をいずれも、整相加算部で整相加算された後の受信信号を復調処理する位置に配置することも可能である。この場合、第1および第2復調器は1台ずつでよいため、回路規模は大幅に低減される。
- [0014] また、第1および第2復調器を、整相加算部で整相加算される前の受信信号をそれぞれ復調する位置に配置することも可能である。この場合、フォーカス段切り替えによる復調エラーは生じないため、タイムサイドローブを低減できる。また、振動子数と同じ数の復調器が必要であるが、復調器を2段に配置したことにより、1段構成の場合よりも回路規模は低減できる。
- [0015] 第1の変調符号列の符号長は、第2の変調符号列を構成する符号要素の符号間



隔と同等またはそれ以下にすることができる。この場合、合成変調符号列を構成する符号要素の係数は、第2の変調符号列の各符号要素の係数を、第1の変調符号列を構成する全ての符号要素の係数と掛け合わせることによって得ることができる。

[0016] 上述の送信部の構成としては、複数種類の変調符号列の係数が予め格納された符号記憶部と、符号記憶部から第1の変調符号列と第2の変調符号列とを選択する選択部と、第1および第2の変調符号列の係数をそれぞれ所望の符号間隔に調整して合成し、合成変調符号列を生成する合成部とを有する構成にすることができる。この場合、第1および第2変調符号列を撮像部位の状態もしくはユーザが所望に合わせて自由に選択できる。

[0017] また、上記送信部の別の構成としては、複数種類の前記合成変調符号列が予め格納された合成符号記憶部と、合成符号記憶部から1つの合成変調符号列を選択する選択部とを有する構成にすることもできる。この構成は、回路構成が簡単であるという利点がある。

[0018] また、本発明の別の態様の超音波診断装置は、被検体との間で超音波を送受する探触子と、前記探触子を駆動するための送信信号を出力する送信部と、前記探触子が受波した受信信号を処理し、高調波の強調された受信信号を得るための受信部と、前記受信部の出力する受信信号を用いて超音波の高調波像を再構成する画像構成部とを有する。送信部は、複数の変調符号列に基づいて生成された、基本波に対する位相シフト量を符号要素の値とする合成変調符号列に対応する送信信号を作成して出力する。受信部は、受信信号について合成変調符号列による変調を復調する復調器を備える。このような基本波に対する位相シフト量を符号要素の値とする合成変調符号を用いることにより、高調波の強調された受信信号を得ることが可能となる。しかも、復調器を複数段に分けるため、回路規模を低減しながらサイドローブ低減効果が得られる。

[0019] 上記送信部は、合成変調符号列の符号要素の値である位相シフト量を表す波形を順次出力することにより、送信信号を生成する構成にすることができる。

[0020] 合成変調符号列は、第1の変調符号列と第2の変調符号列とに基づいて生成したものを用いることができる。この場合、受信部は、受信信号について第1の変調符号

列による変調を復調するための第1復調器と、受信信号について第2の変調符号列による変調を復調するための第2復調器とを有する構成とする。受信信号は第1および第2復調器の一方の復調器により復調された後、他方の復調器によりさらに復調される。

- [0021] 第1および第2の変調符号列の符号要素の係数が+1、-1の2値である場合、合成変調符号列の符号要素である位相シフト量は、第1および前記第2の変調符号要素を掛けあわせ、掛け合わせられた-1の次数を求め、次数に応じた大きさの位相シフト量とすることができる。
- [0022] このとき、強調すべき高調波の次数をM、上記-1の次数をNとした場合、合成変調符号列の符号要素は、 $(180^\circ / M) \times N$ によって定められた位相シフト量とすることができる。
- [0023] 受信部は、第1および第2復調器で復調された受信信号から基本波成分を除去するフィルタを有する構成にすることができる。これにより、基本波成分をフィルタで除去し、高調波成分をさらに強調できる。
- [0024] また、送信部は、合成変調符号列の波形信号と、合成変調符号列の各符号要素の位相シフト量をそれぞれ所定の位相量だけさらに位相シフトさせたもう一つの合成変調符号列の波形信号を出力する構成にすることができる。受信部は、2つの合成変調符号列の送信信号のうち先に出力された波形信号の受信信号を、後に出力された波形信号の受信信号と合成することにより、基本波成分を相殺する受信信号合成部とを有する構成とする。これにより、基本波成分を相殺により除去でき、高調波成分をさらに強調することができる。
- [0025] 例えば、送信部の構成としては、第1および第2の変調符号列を格納する記憶部と、前記記憶部から第1および第2の変調符号列を受け取って-1の次数をカウントし、次数に応じて予め定められた位相シフト量を割り当てる位相差決定部と、予め定められた位相シフト量に対応する複数の波形を記憶し、前記位相差決定部が決定した位相シフト量に対応する波形を送信信号として出力する波形記憶部とを有する構成にすることができる。また、送信部の別の構成としては、複数種類の合成変調符号列が予め格納された合成符号記憶部と、前記合成符号記憶部から1つの合成変調符号

列を選択する選択部とを有する構成にすることができる。

[0026] 上記第1の変調符号列の符号間隔として、第2の変調符号列の符号間隔より大きいものを用いることができる。この場合、第1および第2復調器は、探触子から出力された受信信号を前記第1の復調器によって復調した後、第2の復調器により復調するように配置することができる。これにより、符号間隔の大きな変調符号が先に復調されるため、その後に施される不連続処理、例えばフォーカス段の切り換え、開口数の切り換えや増幅率の切り換への影響による復調エラーが低減でき、不連続処理によるタイムサイドローブを低減できる。

[0027] 例えば、第1復調器を、前記整相加算部で整相加算される前の受信信号を復調する位置に配置し、第2復調器を、整相加算部で整相加算された後の受信信号を復調処理する位置に配置することができる。これにより、フォーカス段の切り替えによる復調エラーを低減でき、タイムサイドローブを低減できる。しかも、第2復調器を整相加算部の後段に配置したことにより回路規模も大幅に低減できる。

[0028] また、第1および第2復調器をいずれも、整相加算部で整相加算された後の受信信号を復調処理する位置に配置することも可能である。この場合も、第1および第2復調器は1台ずつでよいので、回路規模は大幅に低減される。

[0029] また、第1および第2復調器を、整相加算部で整相加算される前の受信信号をそれぞれ復調する位置に配置することも可能である。この場合、フォーカス段切り替えによる復調エラーは生じないため、タイムサイドローブを低減できる。また、復調器を2段構成にしたことにより、1段構成の場合よりも回路規模は低減できる。

## 発明の効果

[0030] 本発明によれば、回路規模の増大を抑えつつ、タイムサイドローブを低減する符号化送受信を実現することができる。

## 発明を実施するための最良の形態

[0031] (第1の実施形態)

本発明を適用した超音波診断装置の第1の実施形態について図1乃至図9を参照して説明する。本実施形態は、2種類の変調符号を合成して合成変調符号を形成し、その合成変調符号によって符号化送受信を行う。



[0032] 図1は、本実施形態の超音波診断装置の全体構成を示すブロック図である。図1に示すように、超音波診断装置は、被検体との間で超音波を送受する複数の振動子から構成された探触子10と、送信部12と、送波用遅延回路11と、送受切り換えスイッチ群13と、受信部14と、画像構成部16と、表示部18と、制御部20と、入力部9とを備えている。送信部12は、制御部20の制御下で符号化された送信信号を生成する。送波用遅延回路11は、送信部が生成した送信信号を制御部20の指示に応じて所定時間ずつ遅延させる。送受切り換えスイッチ群13は、制御部20の設定した可変開口内の各振動子に送信信号を受け渡す。これにより各振動子から被検体内の所定の位置に向かって超音波が送波され、走査および送波時フォーカシングが行われる。被検体内で反射もしくは散乱された超音波は、探触子10の各振動子によって受波されて受信信号に変換され、送受切り換えスイッチ群13により受信部14に受け渡され、復号化処理されるとともに、受波時のフォーカシング処理のための整相処理と加算処理がなされる。画像構成部16は、受信部14の出力信号に基づき超音波像（例えば、Bモード像、Mモード像）を再構成する。再構成された超音波像は、表示部18に表示される。制御部20は、オペレータが入力部9に設定する撮影条件等を受け付け、送信部12、送波用遅延回路11、送受切り換えスイッチ群13、受信部14、画像構成部16の各部を制御する。

[0033] 送信部12の構成について、図2を用いて説明する。送信部12は、タイミング信号発生部22と、少なくとも2つの変調符号を合成した合成変調符号を生成し、合成変調符号に対応した波形を生成する送波波形生成部24と、送波波形生成部24から出力された送波波形を増幅して送信信号を生成する送波アンプ28とを備えている。

[0034] 送波波形生成部24は、本実施の形態では2つの変調符号を合成した合成変調符号を生成する。このために、符号選択部52、53と、符号記憶部50、51と、符号合成部56と、波形出力指示部32と、波形記憶部26とを有している。符号記憶部50、51にはそれぞれ、複数種類の変調符号が予め格納されている。格納されている変調符号としては、例えば、バーカー(Barker)符号、ゴレイ(Golay)符号、チャープ(Chirp)符号の各符号長(符号要素数)のもの、および、その他の符号化送受信に用いられる公知の各種の符号を用いることができ、それらのうち所望の複数種類の符号が予め

符号記憶部50、51に格納されている。符号記憶部50に格納されている符号と符号記憶部51に格納されている符号は、同じ種類の符号であっても、異なる種類の符号であってもよい。

[0035] 符号選択部52、53は、ユーザが今回の計測に使用を望む2つの変調符号、すなわち第1の変調符号(code1)、第2の変調符号(code2)の種類を選択する指示を制御部20から受ける。ここでは一例として、図3に示すように、code1として、符号要素数 $L1=5$ のバーカー符号(+1, +1, +1, -1, +1の符号列)を選択し、code2として、符号要素数(符号長) $L2=4$ のバーカー符号(+1, +1, -1, +1の符号列)を選択する。符号選択部52は、符号記憶部50に格納されている複数の変調符号のうちcode1が格納されているアドレス番号を指定し、code1の各符号要素の係数(+1または-1)を示す信号を所定の時間間隔(符号間隔と称する) $\lambda 1$ で出力するように符号記憶部50に指示する。一方、符号選択部53は、符号記憶部51に格納されている複数の変調符号のうちcode2が格納されているアドレスを指定し、各符号要素の係数を示す信号を符号間隔 $\lambda 2$ でcode1の符号要素数 $L1$ ( $L1=5$ )回繰り返し出力するよう符号記憶部51に指示する。ここで、 $\lambda 1$ は、code2の符号間隔 $\lambda 2$ にcode2の符号要素数 $L2$ を掛けた $\lambda 2 \times L2$ と等しい時間またはそれ以上の時間に設定する。

[0036] 符号合成部56は、符号記憶部50から順次受け取った符号要素の係数(+1または-1)を表す信号を、符号記憶部51から順次受け取った符号要素の係数(+1または-1)を表す信号と掛け合わせることで、2つの変調符号を合成した合成変調符号Xを生成する。すなわち、合成変調符号Xは、図3に示したように、code1の符号要素の係数のそれぞれが、code2の全符号要素によって変調された符号となる。合成変調符号codeXの符号要素数 $Lx$ は、 $Lx=L1 \times L2=20$ となる。

<合成変調符号codeXの変調符号>

合成変調符号codeXの変調符号係数

= (変調符号code1の変調符号係数)  $\times$  (変調符号code2の変調符号係数)

= {+1  $\times$  (+1, +1, -1, +1)、

+1  $\times$  (+1, +1, -1, +1)、

$$\begin{aligned}
&+1 \times (+1, +1, -1, +1), \\
&-1 \times (+1, +1, -1, +1), \\
&+1 \times (+1, +1, -1, +1) \} \\
&= \{+1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, +1\}
\end{aligned}$$

[0037] 符号合成部56は、生成した合成変調符号codeXの符号要素の係数(+1または-1)を示す信号を所定の時間間隔で順次波形選択部32に出力する。本実施の形態では合成変調符号codeXの符号要素の係数が2値(+1または-1)であるので、それに対応する2種類の波形、すなわち基本波形(位相0°)と、基本波形に対して180°位相をずらした波形が波形記憶部26に予め格納されている。波形選択部32は、符号合成部56から順次受け取る信号から、codeXの符号要素の係数を判別し、受け取った符号要素の係数が+1である場合には基本波形の出力を波形記憶部26に指示し、-1である場合には位相180°の波形の出力を波形記憶部26に指示する。波形記憶部26は、指示された波形を送波アンプ28に対して順次出力することにより、合成変調符号codeXの係数が位相で表された変調波形のアナログ信号を送波アンプ28へ出力される。送波アンプ28は、このcodeXを示す変調波形を増幅した信号(符号化駆動信号と呼ぶ)を生成し、図1の送波用遅延回路11に出力する。

[0038] 送波用遅延回路11は、制御部20の指示により、振動子の位置に応じた遅延量で符号化駆動信号を遅延させることにより、符号化駆動信号を生成し、送波切り換えスイッチ群13に受け渡す。送波切り換えスイッチ群13は、遅延量の異なる符号化駆動信号を制御部20から指定された位置の振動子に供給する。これにより、探触子10の各振動子から、codeXにより変調された超音波ビームが送波される。このとき上記遅延により送波時のフォーカシングが実現される。

[0039] 被検体内で反射もしくは散乱された超音波は、探触子10の各振動子によって受信信号に変換され、送受切り換えスイッチ群13により受信部14に受け渡される。被検体内に送波された超音波が符号化により変調されているため、その反射波もしくは散乱波もまた符号化変調されたものとなっているから、受信部14で復号化処理を行う。

[0040] 受信部14の構成と動作について、具体的に説明する。受信部14は、図1に示した

ように、増幅器34、A/D変換器36、第1復調器40、整相加算部42、第2復調器44、信号処理部46を備えている。増幅器34、A/D変換器36、および第1復調器40は、探触子10の振動子と同じ数だけ配置されている。増幅器34は、各振動子の受信信号をそれぞれTGC (Time Gain Compensation) 処理により増幅し、A/D変換器36は、アナログの受信信号をデジタル信号に変換する。第1復調器40は、それぞれの受信信号について、code1による符号化を復調する第1段階の復調を行う。整相加算部42は、すべての第1復調器40から復調後の信号を受け取って整相加算する。第2復調器44は、整相加算により1つに束ねられた受信信号を処理するため1台であり、受信信号について、code2による符号化を復調する第2段階の復調を行う。

[0041] 第1復調器40は、図4に示したように、信号用レジスタ60と、復調符号記憶部64と、係数用レジスタ66と、第1復調フィルタ62とを備えている。これらによる復調の動作を図5を用いて説明する。信号用レジスタ60は、A/D変換器36によってデジタル信号に変換された受信信号(IN1)を保持する。復調符号記憶部64には、送信部12の符号記憶部51に格納されているすべての種類の変調符号(code1)にそれぞれ対応する複数の復号符号(decode1)が予め格納されている。復調符号記憶部64は、制御部20からの指示により、送信部12においてcode1として使用している符号に対応する種類の復号符号(decode1)を係数用レジスタ66に出力する。係数用レジスタ66は、復調符号記憶部64から出力されたdecode1を保持する。第1復調フィルタ62は、係数用レジスタ66に保持されているdecode1の符号係数と信号用レジスタ60に保持されている受信信号の値とを制御部20の指示に従って積和演算することにより、code1について受信信号を復調し、信号(OUT1)を得る。なお、復調フィルタ62は、FIRフィルタ等により構成され、予め必要とされる次数のものを用意しておく。

[0042] 例えば、code1がバーカー符号である場合には、code1の係数を時間軸について反転させた整合フィルタ係数、係数の大きさが1ではない不整合フィルタ係数、または、code1との畳み込み演算により1に近い値を得るためのデコンボリューションフィルタ係数のいずれかをdecode1として用いる。第1の復調フィルタ62は、code1とdecode1とを演算することにより、整合フィルタ、不整合フィルタ、デコンボリューションフ



フィルタとして動作する。decode1として不整合フィルタ係数を用いる場合、decode1の次数が大きい(符号長が長い)ほどタイムサイドローブを低減させることができる。よって、バーカー符号を用いる場合、必要とされるタイムサイドローブレベルとなる次数(例えば31次)のdecode1を演算可能な演算能力の第1復調フィルタ62を用意する。一方、code1がゴレイ符号である場合には、decode1としてはcode1の係数を時間軸について反転させた整合フィルタ係数を用い、第1復調フィルタ62は、これらを積和演算する整合フィルタとして動作する。よって、ゴレイ符号の場合に第1復調フィルタ62に必要な演算能力は、符号長(符号要素数)と同じ次数のdecode1を演算できるものであればよく、例えば符号長4のゴレイ符号の場合4次の演算能力で足りる。このようにcode1として用いる符号の種類およびdecode1の種類により、第1復調フィルタ62に必要とされる演算能力は異なる。よって、第1復調フィルタ62としては、符号記憶部51に予め格納する符号の種類によって必要となる最大次数の演算能力を有するものを備えておく。これにより、code1としてどの符号を選択した場合であっても、第1復調フィルタ40によって復調することができる。

[0043] 上述したように、各第1復調器40のそれぞれによって、符号間隔の大きいcode1による符号化が復調された受信信号OUT1は、整相加算器42により所定の異なる遅延時間ずつ位相を遅延させた後加算されることにより、1つの受信信号に束ねられる。これにより、受波時のフォーカシングが実現される。加算された受信信号は、code2による符号化はまだ復調されていないままである。よって、第2復調器44によってcode2による符号化が復調される。

[0044] 第2復調器44は、図4に示したように第1復調器40と同様の構成であり、信号用レジスタ68と復調符号記憶部72と係数用レジスタ74と第2復調フィルタ70とを備えている。第2復調器44による復号処理を図6を用いて説明する。復調符号記憶部72には、符号記憶部50に格納されているすべての種類の変調符号(code2)にそれぞれ対応する復号化符号(decode2)が予め格納されている。復調符号記憶部72は、制御部20の指示により、送信部12で選択されたcode2に対応するdecode2を係数用レジスタ74に出力する。これによりdecode2は、係数用レジスタ74によって保持される。第2復調フィルタ70は、信号用レジスタ68に保持される整相加算42の出力信号

を、係数用レジスタ74に保持されているdecode2の係数と積和演算することにより復調し、復調後の受信信号(OUT2)を得る。これにより受信信号は、すべての符号化変調が復調され、時間軸方向に受信信号のエネルギーが収束され、被検体の反射強度を反映した振幅を有する短パルス信号となる。なお、第2復調フィルタ70の復調処理の動作は、第1復調フィルタ62と同様である。また、第2復調フィルタ70としては、code2の種類によって必要となる最大次数の演算能力を有する。

[0045] このように、受信部14によって、2段階に復調された受信信号は、信号処理部46に受け渡され、制御部20により指示された所定の信号処理が必要に応じて行われる。例えば、code1およびcode2の少なくとも一方にゴレイ符号のような相補系符号を用いた場合、符号を反転させて行った2回以上の送受信の受信信号を加算する。これにより、被検体の反射強度を反映した振幅を有する短パルス信号を得る。以上が受信部14の構成および処理である。画像構成部16は、信号処理された画像構成を行うことにより、超音波像(例えば、Bモード像、Mモード像)を構成し、表示部18に表示させる。

[0046] 図6の受信信号(OUT2)には図示していないが、符号化送受信技術では、復調によって受信信号のエネルギーを時間軸方向に収束させる際に、本来の得るべき信号の前後にタイムサイドローブと呼ばれる不要信号が生じる。本実施の形態の超音波診断装置では、回路規模を増大させることなく、タイムサイドローブを低減できるという第1の効果が得られる。また、ダイナミックフォーカスのフォーカス段切り換えに伴う復調エラー防止ができるという第2の効果も得られる。

[0047] まず、第1の効果について図7(a)ー図7(c)を用いて説明する。図7(a)、図7(b)は、比較例として、図1の構成の第2の復調器44を用いず、第1の復調器40のみで一括復調を行う構成とした場合の復調後の受信信号の波形を示す図である。図7(a)は、第1の復調器40の復調フィルタ62として、次数(タップ数)63の不整合フィルタを用い、図7(b)では、タップ数131の不整合フィルタを用いている。なお、送信信号の変調符号は、符号長4と符号長5のバーカー符号を合成した図3の符号長20のcodeXを用い、比較例の復調フィルタ62で用いる復号符号decode1としては、codeXを1段階で復調可能なものを用いている。

- [0048] 63タップの不整合フィルタを用いる比較例の場合、図7(a)に示すようにタイムサイドローブの信号レベルは、0.5dB程度となっており、タイムサイドローブの信号レベルが比較的大きい。一方、131タップの不整合フィルタを用いた比較例の場合、図7(b)のようにタイムサイドローブの信号レベルが0.02dB程度まで低減されている。これら2つの比較例により、復調フィルタのタップ数を増やすことにより、タイムサイドローブの信号レベルを抑制できることがわかる。しかしながら、復調フィルタにはタップ数分の演算回路が必要であるため、131タップの復調フィルタを用いる比較例では、探触子10の振動子数を $k$ 個とすると $131 \times k$ 個の演算回路が必要であり、回路規模が増大する。
- [0049] 一方、本発明の第1の実施の形態の構成では、変調符号code2と変調符号code1を合成した合成変調符号codeXを用いることにより、第1復調器40と第2復調器44の2段階に分割して復調することができる。このため、第1および第2の復調フィルタ62、70として、それぞれ31タップの不整合フィルタを用いた場合であっても、復調後の受信信号の波形を図7(c)に示したように、タイムサイドローブの信号レベルは0.03dB程度となり、図7(b)の場合と同等以上のタイムサイドローブの低減効果(リジエクシオン効果)がある。しかも、演算回路数は、第1復調フィルタ62に必要な $31 \times k$ 個と第2復調フィルタ70に必要な31個であり、フィルタの演算回路数は計 $(31 \times k) + 31$ である。よって、131タップのフィルタを用いる比較例( $131 \times k$ 個)の半分以下の演算回路数で同等以上のタイムサイドローブ低減効果が得られる。このように、本実施の形態では、タイムサイドローブのリジエクシオンレベルを所望レベルに維持しつつ、1段階で一括的に復調処理を行うときよりも回路規模を小さくできる。
- [0050] この第1の効果は、変調符号がバーカー符号の場合に限られるものではなく、例えばゴレイ符号を用いる場合であっても同様である。一例として変調符号の符号長を64とすると、1段の復調フィルタで復調するには64次の整合フィルタが必要であり、演算回路数 $64 \times k$ 個が必要である。しかし、同じ符号長64の符号を用いる場合であっても、符号長8と符号長8の符号を合成した変調符号codeXを用いると、復調フィルタ62、70としてそれぞれ8次の整合フィルタを用いることができ、 $(8 \times k) + 8$ 個の演算回路で実現できる。よって、回路規模を $1/4$ 近くまで低減できる。

- [0051] つぎに、ダイナミックフォーカスのフォーカス段切り換えに伴う復調エラー防止という第2の効果について説明する。本実施の形態の超音波診断装置では画像分解能を向上させるため、受信時のフォーカシング技術として公知のダイナミックフォーカス処理機能が整相加算部42に実装されている。ダイナミックフォーカス技術では、被検体の深度方向に設定した複数のサンプリング点(反射源)が複数のフォーカス段にグループ化され、フォーカス段ごとにフォーカスデータが共通に設定される。このフォーカスデータを用いて整相加算部42で受信信号を整相することにより、深度方向に比較的広い範囲で受波時の超音波ビームを集束させることが可能となる。フォーカスデータは、フォーカス段が変わるごとに切替えられる。具体的には、図8(a)に示すように、整相加算部42は、フォーカス段 $F_n$ においてはフォーカスデータAを用いて受信信号を整相するが、設定時間TにフォーカスデータBを用いるフォーカス段 $F_{n+1}$ に切替える。
- [0052] このようなダイナミックフォーカス処理を行う超音波診断装置に符号化送受信技術を採用し、整相加算後に復調する構成とすると、受信信号の1つの符号要素に対応する受信信号波形の途中でフォーカス段の切り換え処理が行われる可能性がある。例えば、図3に示した合成変調符号codeXにより送信波形を変調した場合、図8(b)に示すような符号化された受信信号が得られる。この受信信号は、符号間隔の長いcode1の符号要素 $D-2$ 、 $\dots$ 、 $D$ 、 $\dots$ 、 $D+2$ と、これら符号要素をさらに符号化するcode2に対応する符号要素によって変調されている。このような符号化受信信号のひとつの符号要素Dの受信信号波形の途中でフォーカス段の切り換えが行われると、符号要素Dの前半はフォーカス段 $F_n$ の処理時間に属するが、後半はフォーカス段 $F_{n+1}$ の処理時間に属し、異なるフォーカスデータで整相されるために符号要素Dの受信信号波形は時間Tにおいて不連続となる。このため、符号要素Dの復調処理は正常に行われなくなり、発生したエラーに起因して復調後の信号に図9(a)に示すようなタイムサイドローブが生じる。この現象は、復調エラーになる符号要素を構成する符号長が大きいほど顕著に現れる。
- [0053] これに対し、本実施形態では、整相加算部42の前後に第1復調器40と第2復調器44を配置し、整相加算部42の前段で符号間隔(符号要素の時間幅)が大きい変調



符号code1を復調処理し、整相加算部42の後段で符号間隔が小さい変調符号code2を復調処理している。これにより、整相部42に入力される前に、符号間隔が大きい符号要素は復調済みであるため、整相時のフォーカス段切り換えによる不連続処理が符号間隔の大きい符号要素の途中で行われることがない。よって、タイムサイドローブを低減できる。なお、符号間隔の小さいcode2の符号の途中でフォーカス段切り換えは生じることはあるが、エラーになる符号要素数はcode2の1つの要素のみであるため、それによって生じるタイムサイドローブは小さい。

[0054]   なお、本実施の形態では、整相加算部44の前後に第1復調器40と第2復調器44を配置することにより、フォーカス段の切替えの不連続処理に起因するタイムサイドローブを低減しているが、超音波診断装置における不連続処理は、送受切り換えスイッチ群13に内蔵される可変開口選択部での口径切り換え処理や、増幅器34が行うTGC処理の増幅率の切り換え等でも生じるため、それによる復調エラーのタイムサイドローブのレベルが大きい場合には、その前後に復調器40、44を配置することが可能である。すなわち、可変開口選択部の前後、または、増幅器34の前後に第1復調器40と第2復調器44を配置することにより、口径切り換え処理による受信波形不連続で生じる復調エラー、または、TGC増幅率切り換え処理による受信波形不連続で生じる復調エラーのタイムサイドローブを低減することが可能である。なお、A/D変換器36の前段に第1および第1復調器40、44を配置する場合には、アナログ信号用の復調器を用いる。

[0055]   以上、第1の実施形態について説明してきたが、本発明は第1の実施の形態の構成に限られるものではない。例えば、第1の実施の形態では、合成変調符号codeXを2種類の変調符号code1、code2から合成する例を説明したが、3以上の符号を合成して合成変調符号を得ることも可能である。その場合、複数の変調符号のうち第2の変調符号により第1の変調符号の符号要素を変調して合成変調符号を形成し、さらに、制御部20からの指令に応じて、形成した合成変調符号の符号要素を別の変調符号により変調すればよい。

[0056]   また、第1の実施の形態では、整相部42により1段階で整相加算を行っているが、探触子10を構成する振動子(出力チャンネル)を複数のグループに分け、各グルー

プ毎に配置された第1の整相加算部で受信信号を整相加算し、全ての第1の整相加算部の出力をさらに第2の整相加算部で整相加算する構成にすることも可能である。この技術は、例えば特開平2003-225237号公報に記載されている。この場合、第1の整相加算部の後段に第1復調器40をそれぞれ配置し、第2復調器44の後段に第2復調器44を配置することができる。これにより、図1の構成よりも第1復調器40の数を低減できるため、さらに回路規模を低減できる。

[0057] 第1および第2の変調符号code1およびcode2の符号の種類は、撮像部位の特性や診断内容、撮像装置に配置可能な演算回路数等に応じて、適宜選択することができる。code1とcode2とが異なる種類の符号であってもよい。例えば、図3に示したcode2は、上述の説明ではバーカー符号として用いたが、この符号列は、符号長4のゴレイ符号と同じであるので、ゴレイ符号として用いることも可能である。この場合、codeXは、バーカー符号のcode1とゴレイ符号のcode2との合成符号となるので、code2を復調する第2復調器では、decode2としてcode2を時間軸について反転させたものを用い、第2復調フィルタ70をゴレイ符号用の復調フィルタとして機能させる。

[0058] なお、ゴレイ等の相補的符号は、送受信を2回以上繰り返す必要があるが、復調フィルタの次数が比較的小さくなることから、振動子数分必要とされる第1復調器40で復調する符号code1として用いた場合、効果的に装置全体の演算回路規模を低減できる。一方、バーカー符号やチャープ符号は、1回の送受信により血流や造影剤など動きを伴う検査部位から情報を抽出することができるという特長があるため、短時間撮像に適している。このように種類が異なる複数の符号を組み合わせることにより、撮像部位の特性に応じて、各変調符号の長所を必要に応じて使い分けることができるとともに、回路規模を小さくしつつタイムサイドローブを低減できる。

[0059] 上述してきたように、本実施の形態では、バーカー符号、ゴレイ符号、チャープ符号等の一般的な符号から生成した合成変調符号を用いるが、合成変調符号は、一般的な符号を単純に組み合わせたものではなく、2以上の符号を合成していることに本発明の特徴がある。すなわち、一方の符号の全ての符号要素で、他方の符号のそれぞれの符号要素を変調することにより、上述してきた回路規模低減という第1の効果と、タイムサイドローブ低減という第2の効果とを同時に得ることを可能にしたものである。

。

[0060] (第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態の超音波診断装置について図10を用いて説明する。

第2の実施の形態の超音波診断装置は、第1復調器40の配置を整相加算部42の後段としている。これ以外の構成は、第1の実施の形態と同様である。

[0061] 第1復調器40を整相加算部42の後段に配置する図10の構成は、第1の実施の形態で説明したフォーカス段切り換えに伴うタイムサイドローブ低減という第2の効果は得られないが、復調時のタイムサイドローブを低減しながらの回路規模低減という第1の効果は十分得られる。というのは、整相加算部42の後段に第1復調器40を配置することにより、第1復調器40を探触子10の振動子ごとに配置する必要がないため、第1復調器40は第2復調器44と同じく1台のみでよく、第1の実施の形態の構成よりもさらに回路規模は低減される。しかも、第1復調器40と第2復調器44の2段構成としたことにより、従来の1段構成の場合よりも1つの復調機器の回路規模が低減される。例えば、図7(b)と同様に、整相加算部42の後段に1段構成の復調器を配置する比較例では、131タップの復調フィルタを用いる必要があるが、第2の実施の形態のように復調器40、44の2段構成にするばあいには、図7(c)と同様に31タップ2段で131タップ1段と同等レベル以下にタイムサイドローブを低減できる。31タップ2段の演算回路数は $31 \times 2 = 62$ 個であるから、131タップ1段の場合の約半分の演算回路規模でありながら同等以上のタイムサイドローブ低減の効果が得られる。

[0062] なお、第1および第2復調器40、44は、いずれも整相加算部42の後段に配置されるため、第1および第2復調器40、44はどちらが前段であってもよく、整相加算部42の後段に第2復調器44を、さらにその後段に第1復調器40を配置してもかまわない。

。

[0063] (第3の実施の形態)

本発明の第3の実施の形態の超音波診断装置について図11を用いて説明する。

第3の実施の形態の超音波診断装置は、第2復調器44の配置を整相加算部42の前段としている。これ以外の構成は、第1の実施の形態と同様である。

[0064] 第2復調器44を第1復調器40とともに整相加算部42の前段に配置する図11の構

成は、整相加算の前に受信信号の復調が完了するため、第1の実施の形態で説明したフォーカス段切り換えに伴う復調エラーによるタイムサイドローブが発生しないという効果が得られる。一方、第2復調器44を探触子10の振動子の数分配置する必要があるため、回路規模低減の効果は第1および第2の実施の形態よりは小さくなるが、従来のように1段構成の復調器を整相加算部42の前段に配置する場合と比較するとその効果は十分得られる。というのは、整相加算部42の前段に1段構成の復調器を配置する比較例では、図7(b)と同様に131タップの復調フィルタを用いる必要があるため、振動子の数をk個とすると演算回路数は $131 \times k$ 個必要であるが、図11のように2段構成にすることにより図7(c)と同様に31タップ2段で131タップ1段と同等レベル以下にタイムサイドローブを低減できる。よって、演算回路数は $31 \times k \times 2 = 62 \times k$ 個ですむから、131タップ1段の場合の約半分の演算回路規模でありながら同等以上のタイムサイドローブ低減の効果が得られる。

[0065] なお、第1および第2復調器40、44は、いずれも整相加算部42の前段に配置されるため、第1および第2復調器40、44はどちらが前段であってもよく、探触子10の後段に第2復調器44を、さらにその後段に第1復調器40を配置してもかまわない。

[0066] (第4の実施形態)

本発明を適用した超音波診断装置の第4の実施形態について図12を用いて説明する。図12の構成が第1の実施形態と異なる点は、送波波形生成部24に合成符号記憶部90が配置され、2種類の変調符号code1、code2を予め合成した複数の合成変調符号が格納されていることである。そのうちの1つの合成変調符号codeXを合成符号選択部88が制御部20からの制御信号に応じて選択する。選択されたcodeXを波形選択部32に受け渡される。一方、第1復調器40、第2復調器44は、選択されたcodeXを構成するcode1、code2に対応するdecode1、decode2を選択する制御信号が制御部20から出力される。他の構成は第1の実施の形態と同じである。

[0067] 第4の実施形態によれば、第1の実施形態の場合よりも、合成変調符号を生成する構成が簡素になるため、回路規模を小さくすることができる。また、合成復調符号記憶部90に複数種類の合成変調符号を格納しておくことにより、撮像部位の特性に応じた合成変調符号を選択することが容易になるため、装置の使い勝手を向上させるこ



とができる。なお、本実施形態は、第2、第3の実施形態と適宜組み合わせることができる。

[0068] (第5の実施形態)

本発明を適用した超音波診断装置の第5の実施形態について図13(a)、図13(b)ないし図16を参照して説明する。生体組織や血流像の超音波像の画像分解能を向上させるために、造影エコー法(コントラストエコー法)やティッシュハーモニックイメージング法などが行われる。造影エコー法は、被検体に超音波造影剤を投与し、投与した超音波造影剤のマイクロバブルにより反射した超音波の高調波成分(例えば、2次高調波、3次高調波)に基づいて超音波像を再構成する技術である。ティッシュハーモニックイメージング法は、超音波が生体内を粗密波伝播する際に音圧差による音圧変化によって超音波に波形歪みが生じることに着目し、生じた波形歪みに起因する高調波成分に基づいて超音波像を再構成する技術である。このような造影エコー法やティッシュハーモニックイメージング法においては、高調波成分を強調する撮像方法を用いることにより、高調波成分に基づく超音波像を鮮明に再構成することができる。本実施の形態では、第1〜第4の実施形態で説明した合成変調符号を用いる技術を応用することにより、受信信号の高調波成分を強調することができる。以下に、反射信号の2次高調波を強調する場合を例に説明する。

[0069] 本実施形態の超音波診断装置は、図13(a)に示したように、第1の実施の形態の超音波診断装置と基本的に同様の構成であるが、送波波形生成部24の符号合成部56に位相変調部130が備えられている点と、波形記憶部26には予め $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ の少なくとも3種類の波形が格納されている点が第1の実施の形態とは異なる。また、受信部14の信号処理部46には、図13(b)のように、所望の高調波の周波数帯域信号を通過させ、他の周波数帯域をカットする帯域制御フィルタ(例えばバンドパスフィルタ)140が内蔵される点で第1の実施の形態とは異なる。位相変調部130は、符号合成部56が第1の実施の形態と同様に合成した合成変調符号codeXの各符号要素について基本波に対する位相シフト量を決定し、位相シフト量で表されるcodeYを生成する処理を行う。この位相シフトしたcodeYの符号要素の位相シフト量に応じて波形記憶部26の3種類の波形が選択される。また、信号処理部46の帯域

制御フィルタ140は、強調したい所望の高調波(2次高調波)の周波数を通過させ、基本波を減衰させカットする。

- [0070] 符号合成部56の動作について説明する。符号合成部56は、図14に示したように、まず第1の実施の形態と同様にcode2の係数とcode1の係数とを掛け合わせ、合成変調符号codeXを生成する。変調符号Xの係数は、以下の通りとなる。

＜合成変調符号codeXの変調符号係数＞

合成変調符号codeXの変調符号係数

= (変調符号code1の変調符号係数) × (変調符号code2の変調符号係数)

= { +1 × (+1, +1, -1, +1)、

+1 × (+1, +1, -1, +1)、

+1 × (+1, +1, -1, +1)、

-1 × (+1, +1, -1, +1)、

+1 × (+1, +1, -1, +1) }

= { +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1, -1, -1, (-1)<sup>2</sup>,  
-1, +1, +1, -1, +1 }

- [0071] 位相変調部130は、合成変調符号codeXの各符号要素について、その符号要素を得るために掛け合わせた変調符号code2の係数の負の係数と変調符号code1の係数の負の係数の合計(次数)をカウントする。すなわち、codeXの符号要素毎に、合成時に「負の極性(-1)」の乗算次数をカウントする。例えば、code2の係数が+1、code1の係数が+1であった場合、それを掛けて得たcodeXの係数+1の符号要素の次数は0である。code2の係数が+1、code1の係数が-1であった場合、それらから得たcodeXの-1の符号要素は、-1を1回掛けて得られているのでその次数は1である。code2の係数が-1、code1の係数が-1であった場合、それらから得たcodeXの+1の符号要素の次数は、-1を2回掛けて得られているのでその次数は2である。

- [0072] したがって、図15において合成変調符号codeXの各符号要素について示したように、1番目、2番目の符号要素は、次数0である。3番目の符号要素は、次数1である。4番目の符号要素の次数は0である。15番目の符号要素は、-1が2回乗算されて

いるため、次数2である。

- [0073] 位相変調部130は、カウントした次数に応じて、合成変調符号codeXの各符号要素に基本波に対する位相シフト量を決定し、位相シフト量で表されるcodeYを生成する。次数0には基本波を、次数1には位相シフト量 $90^\circ$ を、次数2には位相シフト量 $180^\circ$ を割り当てる。これにより、図15に示したように、合成変調符号codeYの1番目、2番目の符号要素は、次数0であるから $0^\circ$ となる。3番目の符号要素は、次数1であるから $90^\circ$ である。4番目の符号要素は、次数0であるから量 $0^\circ$ である。他の符号要素も同様に次数に応じて基本波に対する位相シフト量が決定される。15番目の符号要素については、次数2であるため $180^\circ$ となる。このように得られた合成変調符号codeYの各符号要素の位相シフト量は、以下のとおりとなる。

＜合成変調符号codeYの各符号要素の位相＞

{  $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $0^\circ$ 、  
 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $0^\circ$ 、  
 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $0^\circ$ 、  
 $90^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $90^\circ$ 、  
 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $0^\circ$  }

- [0074] 波形記憶部26には、基本波 $0^\circ$ と、それに対する位相シフト量 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ の波形が図16に示したように予め格納されている。波形選択部32は、codeYの符号要素ごとにその位相シフト量に対応する波形を波形記憶部26から出力させる。
- [0075] このような合成変調符号codeYを用いた符号化送受信の動作について、超音波造影剤を投与する場合を一例として説明する。まず、超音波造影剤が被検体に投与される。そして、送信部12から探触子10に合成変調符号codeYの波形の送信信号が供給される。これによって、探触子10から符号化超音波ビームが送波される。超音波造影剤のマイクロバブルにより反射した符号化反射エコー信号が探触子10により受波される。探触子10から出力される受信信号は、codeYで変調されているので、第1復調器40と第2復調器44によって復調されるが、このとき用いられる復調符号は第1の実施の形態と同じく、合成変調符号codeXを構成したcode1とcode2にそれぞれ対応するdecode1とdecode2である。すなわち、第1復調器40でdecode1を用いて

code1を復調し、第2復調器44でdecode2を用いてcode2を復調する。

[0076] このようにcodeXを $-1$ の乗算回数に応じて位相シフトさせたcodeYの波形を、codeXを復調するときと同じように復調することにより、第2次高調波が強調された受信信号が得られる。この受信信号には、復調した段階では、基本波も含まれているので、信号処理部46において周波数制御フィルタ140により基本波を減衰させることにより、さらに第2次高調波成分が強調される。このとき第2次高調波が強調されているので、基本波から容易に分離することができるとともに、SN比の大きな2次高調波を得ることができる。よって、得られた2次高調波成分に基づき画像構成部16で超音波像が構成することにより、超音波像の画像分解能を向上させることができる。

[0077] なお、本実施形態では、2次高調波を強調する場合を例に説明したため、合成変調符号codeXの各符号要素を、 $(-1)$ の回数に応じて基本波に対して $90^\circ$  ずつ位相をシフトさせているが、2次高調波に限らず、3次以上の高調波を強調することも可能である。例えば、3次高調波を強調させるときは、回数に応じて位相を $60^\circ$  ずつシフトさせ、4次高調波を強調させるときは、回数に応じて位相 $45^\circ$  ずつシフトさせればよい。要するに、反射エコー信号のM次高調波成分(M:2以上の整数)を強調するとき、合成変調符号の各符号要素の $(-1)$ の回数をN(N:整数)とすると、各符号要素を基本波に対して $(180^\circ / M) \times N$ だけ位相シフトさせる。同時に、信号処理部46の帯域制御フィルタ140の通過帯域を、M次高調波成分(M:2以上の整数)の周波数帯域を通過させ、他の帯域をカットするものを用いる。

[0078] なお、本実施形態では、合成変調符号codeXを2つの符号code1, code2から合成しているため符号要素の $(-1)$ の回数は最大2であり、2次高調波を強調しているので位相シフト量は最大で $180^\circ$  であった。しかしながら、合成変調符号codeXを3つの符号code1, code2, code3から合成することも可能である。3つの符号からcodeXを合成する場合、符号要素の $(-1)$ の回数は最大3となるため、回数3に対しては位相シフト量 $270^\circ$  を割り当てる。その場合、図16のように位相シフト量 $270^\circ$  の波形を予め波形記憶部26に格納しておき出力させる構成とする。

[0079] なお、合成変調符号としてcodeXとしては、第1の実施の形態と同様に、種々の符号を組み合わせることが可能であるが、ゴレイ等の相補系符号を用いる場合には、符



号を反転させて2回以上送受信を行って、受信信号を加算する処理を信号処理部46で行う。また、復調器40, 44の配置については、第2または第3の実施の形態の構成にすることができる。図12の第4の実施の形態のように直接codeYを合成符号記憶部90に記憶させておくことも可能である。

[0080] (第6の実施形態)

本発明を適用した超音波診断装置の第6の実施形態について図17ないし図19を参照して説明する。前述した第5の実施形態では、復調後の受信信号に基本成分が含まれているため、これを帯域制御フィルタ140によりカットする構成であったが、本実施の形態では、符号化送受信を2回行い、受信信号を加算することにより、基本波成分を相殺しつつ高調波成分を強調する。

[0081] 本実施形態の超音波診断装置は、図17に示したように第5の実施の形態とほぼ同様の構成であるが符号合成部56は、合成変調符号codeY(第1の合成変調符号)を生成する位相変調部130に加えて、第1の合成変調符号codeYの各符号要素の位相をさらに所定量だけシフトさせて第2の合成変調符号codeZを生成する第2符号生成部131を有する。また、図18に示すように、信号処理部46は、帯域制御フィルタ96と、帯域制御フィルタ96から出力された反射信号を一時的に格納するラインメモリ92と、帯域制御フィルタ96から出力される反射信号とラインメモリ92から出力されている反射信号を加算し合成する合成回路94を有する。なお、本実施の形態では送受信を2回行い、2回の受信信号を加算することにより基本波成分を相殺しつつ高調波成分を強調するため、基本的には帯域フィルタ96は不要であるが、ここでは被検体の体動によって相殺しきれない基本波成分を除去するために配置している。

[0082] 符号合成部56の位相変調部130は、第5の実施形態で説明した処理によって図19に示した合成変調符号codeYを第1の合成変調符号として生成する。次いで、第2符号生成部131は、第1の合成変調符号codeYの各符号要素の位相を $180^\circ$ だけシフトさせた第2の合成変調符号codeZを生成する。例えば、第1の合成変調符号codeYの各符号要素の位相と、第2の合成変調符号codeZの各符号要素の位相は、次のとおりとなる。

<第1の合成変調符号codeYの各符号要素の位相>

{  $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $0^\circ$ 、  
 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $0^\circ$ 、  
 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $0^\circ$ 、  
 $90^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $90^\circ$ 、  
 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $0^\circ$  }

<第2の合成変調符号codeZの各符号要素の位相>

{ $180^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $180^\circ$ 、  
 $180^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $180^\circ$ 、  
 $270^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $270^\circ$ 、  
 $180^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $180^\circ$  }

[0083] このような第1の合成変調符号codeYと第2の合成変調符号codeZを用いた符号化送受信の手順について説明する。まず、第1の合成変調符号codeYの送信信号波形が、送信部12から探触子10に供給され、符号化超音波ビームが送波される。超音波造影剤のマイクロバブルにより反射した符号化反射エコー信号が探触子10により受波される。探触子10の各振動子によって電気信号に変換された符号化反射信号は、第5の実施形態と同様に、受信部12によってdecode1, decode2による2段階の復調処理と整相加算処理がされ、信号処理部46に第1の反射信号として出力される。第1の反射信号は、第5の実施の形態で説明したように、高調波が強調されている。第1の反射信号は、帯域制御フィルタ96を通過後、ラインメモリ92に一時的に保持される。ラインメモリ92に保持される受信信号の波形を図18(B)に示す。

[0084] 次に、第2の合成変調符号codeZの送信信号波形が送信部12から探触子10に供給されることにより、探触子10から符号化超音波ビームが送波される。符号化超音波ビームの走査ラインは、第1の合成変調符号codeYによる符号化送受信の走査ラインと同一になるように制御される。そして、反射エコー信号は、探触子10により受波され、受信信号は、第1の合成変調符号codeYの場合と同様のdecode1, decode2による2段階の復調処理および整相加算がされた後、信号処理部46に出力される。受信信号の波形を図18(A)に示す。この受信信号波形は、codeZがcodeYに対して $180^\circ$  位相シフトしているため、ラインメモリ92に保持されているcodeYによる受信

信号波形(図18(B))に対して、基本波成分は極性が反転しているが、高調波成分は極性が反転していない。よって、合成回路94によって合成変調符号codeYによる反射信号と合成変調符号codeZによる反射信号を加算することにより、基本波成分が相殺され、高調波成分は加算されて強調される(図18(C))。合成回路94の出力に基づいて、高調波成分の超音波像が再構成される。

[0085] 本実施形態によれば、合成変調符号codeZの各符号要素の位相をcodeYの各符号要素に対して $180^\circ$ だけ位相をシフトさせておくことにより、それぞれの反射信号の基本波成分は極性が反転しているので、両者を加算することにより基本波成分を抑制できる。2次高調波成分は、極性が反転していないので、加算により強調されたものになる。したがって、2次高調波成分のノイズ比が大きくなることから、超音波像の画像分解能を向上させることができる。また、帯域制御フィルタ96を配置しているため、2回の送受信の間の被検体の体動によって加算のみでは相殺できない基本波成分が残存した場合であっても、帯域制御フィルタ96によってこれを除去することができる。よって、強調したい高調波にとってはタイムサイドローブとなる残存基本波を低減することができる。

[0086] 本実施形態では、 $180^\circ$ シフトした2つの合成変調符号を生成し、同一走査ラインに対し2回の符号化送受信を行う例を説明したが、これに限られるものではなく、3回以上の送受信を行うことも可能である。この場合、第1の合成変調符号と、第2の合成変調符号と、第3の合成変調符号として、 $120^\circ$ ずつ位相をシフトさせたものを符号合成部56で生成する。その第1乃至第3の合成変調符号によって同一走査ラインに対し3回の符号化送受信を行い、各合成変調符号に対応する反射信号を加算すると、基本波成分を相殺しつつ3次高調波成分を強調することができる。

[0087] 要するに、同一走査線に対し複数回の符号化送受信を行うとき、各合成変調符号の位相関係は、積和すると基本波が相殺したり減少したりすると共に、高調波が増大する関係になるように、合成変調符号の位相を互いにシフトさせればよい。例えば、同一走査線に対し複数回A(A:自然数)の符号化送受信を行うとき、3回目(B:A以下の自然数)の符号化送受信で使用する合成変調符号は、(B-1)回目の符号化送受信で使われた合成変調符号に対し、位相が $360^\circ / A$ だけシフトされたもの

にすればよい。また、符号化送受信回数と各合成変調符号の位相の組合せにより、複数の高調波や中間周波数を強調することができる。なお、第1乃至第4の実施形態やその変形例を適宜組み合わせることも可能である。

[0088] また、上記第6の実施の形態では、バーカー符号列等によりcodeXを生成し、これを元にcodeYを生成しているが、合成変調符号としてcodeXとしては、第1の実施の形態と同様に、種々の符号を組み合わせることが可能である。ただし、ゴレイ等の相補系符号を用いる場合には、1つの受信信号を得るために符号を反転させて2回以上送受信を行って、受信信号を加算する処理を信号処理部46で行う必要がある。よって、codeYとcodeZを用いる場合には、codeYとその反転符号とで2回送受を行い受信信号を加算してcodeYに対応する受信信号を得て、さらに、codeZとその反転符号とで2回送受を行い受信信号を加算してcodeZに対応する受信信号を得て、それらcodeX, Yの受信信号を図18の回路で加算する。したがって、2次高調波を求める場合で4回、3次高調波では6回の送受信が必要となる。

[0089] また、復調器40, 44の配置については、第2または第3の実施の形態の構成にすることができる。また、図12の第4の実施の形態のように直接codeY, Zを合成符号記憶部90に記憶させておくことも可能である。

#### 図面の簡単な説明

[0090] [図1]本発明の第1の実施形態の超音波診断装置のブロック図である。

[図2]図1の送信部12のブロック図である。

[図3]図2の符号合成部56で合成される合成変調部符号codeXを説明する説明図である。

[図4]図1の第1復調器40と第2復調器44の構成を示すブロック図である。

[図5]図4の第1復調器40で復調される受信信号の波形と復号符号decode1の波形を示す説明図である。

[図6]図5の第2復調器44で復調される受信信号の波形と復号符号decode2の波形を示す説明図である。

[図7]図7(a)は、比較例として63タップ1段の復調フィルタで受信信号を復調した場合の信号波形を示すグラフであり、図7(b)は、比較例として131タップ1段の復調フ



ィルタで受信信号を復調した場合の信号波形を示すグラフであり、図7(c)は、第1の実施形態の構成で31タップ2段の復調器40、44で受信信号を復調した場合の信号波形を示すグラフである。

[図8]図8(a)は、フォーカス段の切り替え前後で用いられるフォーカスデータが異なり不連続な処理となることを示す説明図であり、図8(b)は、図3(a)の符号codeXのcode1の符号要素Dの途中でフォーカス段の切り替え処理が生じ、復調エラーとなる場合を示す説明図である。

[図9]図9(a)は、図8(a)で符号要素Dが復調エラーとなり、受信信号に生じたタイムサイドローブを示すグラフであり、図9(b)は、復調エラーが生じない場合の信号波形を示すグラフである。

[図10]本発明の第2の実施形態の第1および第2復調器40、44の配置示すブロック部である。

[図11]本発明の第3の実施形態の第1および第2復調器40、44の配置を示すブロック図である。

[図12]本発明の第4の実施形態の送信波形生成部24の構成を示すブロック図である。

[図13]図13(a)は、本発明の第5の実施の形態の送信部12の構成を示すブロック図であり、図13(b)は、信号処理部46の構成を示すブロック図である。

[図14]図13の位相変調部130がcodeXの符号要素について-1の次数をカウントすることを示す説明図である。

[図15]図13の位相変調部130がcodeXの次数から生成するcodeYと、codeYの送信波形を示す説明図である。

[図16]図13の波形記憶部26に予め格納される基本波、位相 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ の波形を示す説明図である。

[図17]本発明の第6の実施形態の送信部12の構成を示すブロック図である。

[図18]本発明の第6の実施の形態の信号処理部の構成を示すブロック図である。

[図19]図17の位相変調部130が生成するcodeYと、第2符号生成部が生成するcodeZと、それらの送信波形を示す説明図である。

## 符号の説明

[0091] 9…入力部、10…探触子、12…送信部、13…送受切り替えスイッチ群、14…受信部、16…画像構成部、18…表示部、20…制御部、22…タイミング信号発生部、24…送信波形生成部、26…波形記憶部、28…送波アンプ、32…波形選択部、34…増幅器、36…A/D変換器、40…第1復調器、42…整相部、44…第2復調器、46…信号処理部、50、51…符号記憶部、52、53…符号選択部、56…符号合成部、60…信号用レジスタ、62…第1復調フィルタ、64…復調符号記憶部、66…係数用レジスタ、68…信号用レジスタ、70…第2復調フィルタ、72…復調符号記憶部、74…係数用レジスタ、88…合成符号選択部、90…合成符号記憶部、92…ラインメモリ、94…合成回路、96…帯域制御フィルタ、130…位相変調部、131…第2符号生成部、140…帯域制御フィルタ。

### 請求の範囲

- [1] 被検体との間で超音波を送受する探触子と、前記探触子を駆動するための送信信号を出力する送信部と、前記探触子が受波した受信信号を処理する受信部と、前記受信部の出力する受信信号を用いて超音波像を再構成する画像構成部とを有し、  
前記送信部は、複数の変調符号列を合成した合成変調符号列に対応した前記送信信号を作成して出力し、前記受信部は、前記受信信号について前記合成変調符号列による変調を復調する復調器を備えることを特徴とする超音波診断装置。
- [2] 請求項1に記載の超音波診断装置において、前記送信部は、前記合成変調符号列の符号要素の係数に基づいて波形を順次出力することにより、前記送信信号を生成することを特徴とする超音波診断装置。
- [3] 請求項1または2に記載の超音波診断装置において、前記合成変調符号列は、第1の変調符号列と第2の変調符号列とを合成したものであり、  
前記復調器は、前記第1の変調符号列による変調を復調するための第1復調器と、前記第2の変調符号列による変調を復調するための第2復調器とを有し、前記第1および第2復調器は、前記探触子から出力された前記受信信号を一方の復調器によって復調した後、他方の復調器によりさらに復調する構成であることを特徴とする超音波診断装置。
- [4] 請求項3に記載の超音波診断装置において、前記第1の変調符号列の符号間隔は、第2の変調符号列の符号間隔より大きく、  
前記第1および第2復調器は、前記探触子から出力された受信信号を前記第1の復調器によって復調した後、前記第2の復調器により復調する構成であることを特徴とする超音波診断装置。
- [5] 請求項3または4に記載の超音波診断装置において、前記探触子は複数の振動子を含み、前記受信信号は前記複数の振動子のそれぞれから出力され、前記受信部は、前記振動子のそれぞれから出力された前記受信信号を整相し加算する整相加算部を有し、  
前記第1復調器は、前記整相加算部で整相加算される前の受信信号を復調する位置に配置され、前記第2復調器は、前記整相加算部で整相加算された後の受信

信号を復調処理する位置に配置されていることを特徴とする超音波診断装置。

- [6] 請求項3または4に記載の超音波診断装置において、前記探触子は複数の振動子を含み、前記受信信号は前記複数の振動子のそれぞれから出力され、前記受信部は、前記振動子のそれぞれから出力された前記受信信号を整相し加算する整相加算部を有し、

前記第1および第2復調器はいずれも、前記整相加算部で整相加算された後の受信信号を復調処理する位置に配置されていることを特徴とする超音波診断装置。

- [7] 請求項3または4に記載の超音波診断装置において、前記探触子は複数の振動子を含み、前記受信信号は前記複数の振動子のそれぞれから出力され、前記受信部は、前記振動子のそれぞれから出力された前記受信信号を整相し加算する整相加算部を有し、

前記第1および第2復調器はいずれも、前記整相加算部で整相加算される前の受信信号を復調する位置に配置されていることを特徴とする超音波診断装置。

- [8] 請求項3または4に記載の超音波診断装置において、前記第2の変調符号列の符号長は、前記第1の変調符号列を構成する符号要素の符号間隔と同等またはそれ以下であり、前記合成変調符号列を構成する符号要素数の係数は、前記第1の変調符号列の各符号要素の係数と、前記第2の変調符号列を構成する符号要素の係数のそれぞれとを掛け合わせたものであることを特徴とする超音波診断装置。

- [9] 請求項1に記載の超音波診断装置において、前記送信部は、複数種類の変調符号列の係数が予め格納された符号記憶部と、前記符号記憶部から2以上の変調符号列を選択する選択部と、前記2以上の変調符号列の係数をそれぞれ所望の符号間隔に調整して合成し、前記合成変調符号列を生成する合成部とを有することを特徴とする超音波診断装置。

- [10] 請求項1に記載の超音波診断装置において、前記送信部は、複数種類の前記合成変調符号列が予め格納された合成符号記憶部と、前記合成符号記憶部から1つの合成変調符号列を選択する選択部とを有することを特徴とする超音波診断装置。

- [11] 被検体との間で超音波を送受する探触子と、前記探触子を駆動するための送信信号を出力する送信部と、前記探触子が受波した受信信号を処理し、高調波の強調さ



れた受信信号を得るための受信部と、前記受信部の出力する受信信号を用いて超音波の高調波像を再構成する画像構成部とを有し、

前記送信部は、複数の変調符号列に基づいて生成された、基本波に対する位相シフト量を符号要素の値とする合成変調符号列に対応する前記送信信号を作成して出力し、前記受信部は、前記受信信号について前記合成変調符号列による変調を復調する復調器を備えることを特徴とする超音波診断装置。

[12] 請求項11に記載の超音波診断装置において、前記送信部は、前記合成変調符号列の符号要素の値である前記位相シフト量を表す波形を順次出力することにより、前記送信信号を生成することを特徴とする超音波診断装置。

[13] 請求項11または12に記載の超音波診断装置において、前記合成変調符号列は、第1の変調符号列と第2の変調符号列とに基づいて生成したものであり、

前記受信部は、前記受信信号について前記第1の変調符号列による変調を復調するための第1復調器と、前記受信信号について第2の変調符号列による変調を復調するための第2復調器とを有し、前記第1および第2復調器は、前記探触子から出力された前記受信信号を一方の復調器によって復調した後、他方の復調器によりさらに復調する構成であることを特徴とする超音波診断装置。

[14] 請求項13に記載の超音波診断装置において、前記第1および第2の変調符号列の符号要素の係数は、+1、-1の2値であり、前記合成変調符号列の符号要素である位相シフト量は、前記第1および前記第2の変調符号要素を掛けあわせ、掛け合わせられた-1の次数に応じた大きさの位相シフト量であることを特徴とする超音波診断装置。

[15] 請求項14に記載の超音波診断装置において、強調すべき高調波の次数をM、上記-1の次数をNとした場合、前記合成変調符号列の符号要素の位相シフト量は、 $(180^\circ / M) \times N$ によって定められたものであることを特徴とする超音波診断装置。

[16] 請求項11ないし15のいずれか1項に記載の超音波診断装置において、前記受信部は、前記第1および第2復調器で復調された受信信号から基本波成分を除去するフィルタを有することを特徴とする超音波診断装置。

[17] 請求項11ないし15のいずれか1項に記載の超音波診断装置において、前記送信

部は、前記合成変調符号列の波形信号と、前記合成変調符号列の各符号要素の位相シフト量をそれぞれ所定の位相量だけさらにシフトさせたもう一つの合成変調符号列の波形信号を出力し、

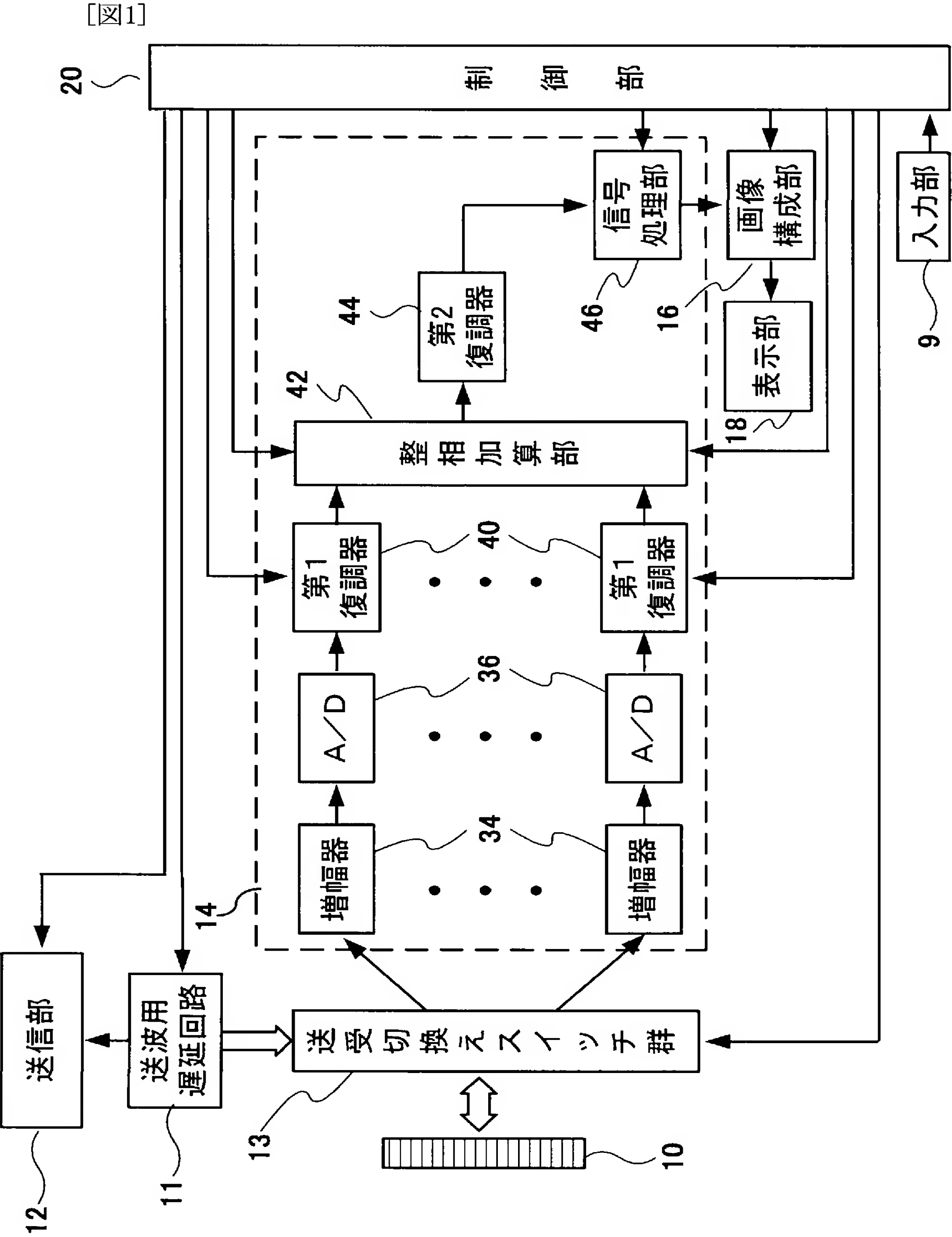
前記受信部は、前記2つの合成変調符号列の送信信号のうち先に出力された波形信号の受信信号を、後に出力された波形信号の受信信号と合成することにより、基本波成分を相殺する受信信号合成部を有する超音波診断装置。

[18] 請求項14に記載の超音波診断装置に置いて、前記送信部は、前記第1および第2の変調符号列を格納する記憶部と、前記記憶部から第1および第2の変調符号列を受け取って-1の次数をカウントし、前記次数に応じて予め定められた位相シフト量を割り当てる位相差決定部と、予め定められた位相シフト量に対応する複数の波形を記憶し、前記位相差決定部が決定した位相シフト量に対応する波形を送信信号として出力する波形記憶部とを有することを特徴とする超音波診断装置。

[19] 請求項13に記載の超音波診断装置において、前記送信部は、複数種類の前記合成変調符号列が予め格納された合成符号記憶部と、前記合成符号記憶部から1つの合成変調符号列を選択する選択部とを有することを特徴とする超音波診断装置。

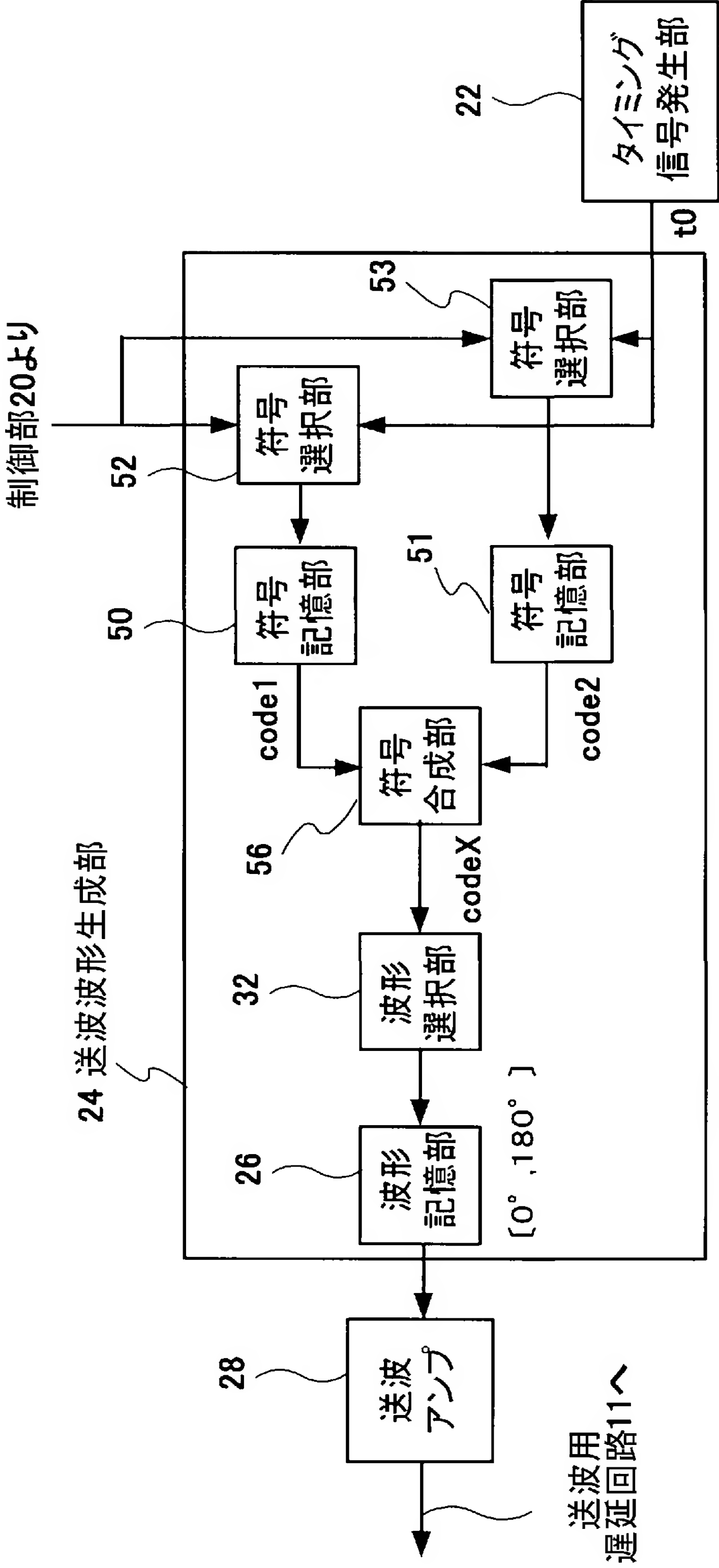
[20] 請求項13に記載の超音波診断装置において、前記第1の変調符号列の符号間隔は、第2の変調符号列の符号間隔より大きく、

前記第1および第2復調器は、前記探触子から出力された受信信号を前記第1の復調器によって復調した後、前記第2の復調器により復調する構成であることを特徴とする超音波診断装置。



[図2]

12

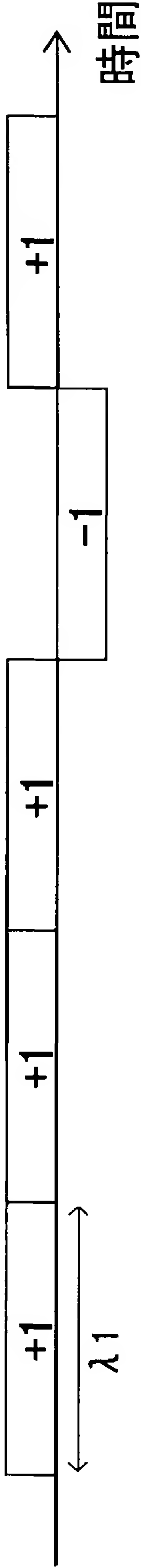




[図3]

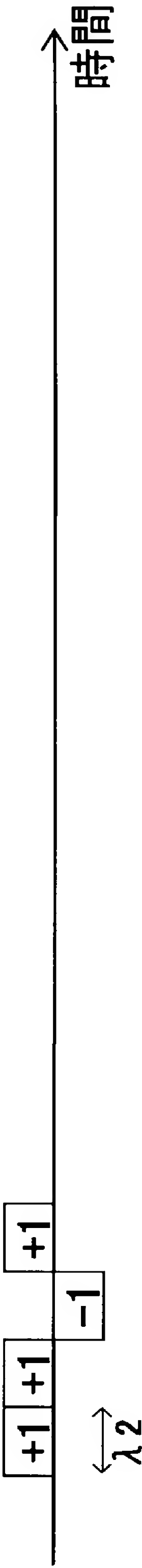
Barker符号

code1=(+1,+1,+1,-1,+1) L1=5

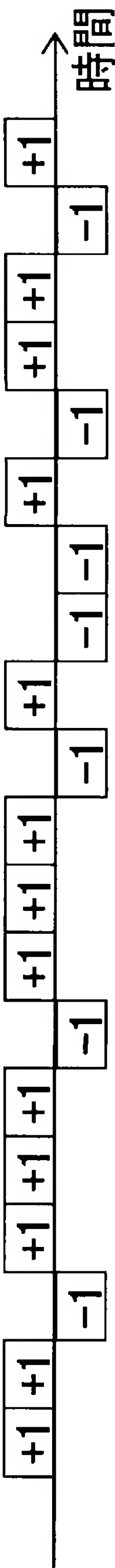


Barker符号(Golay符号)

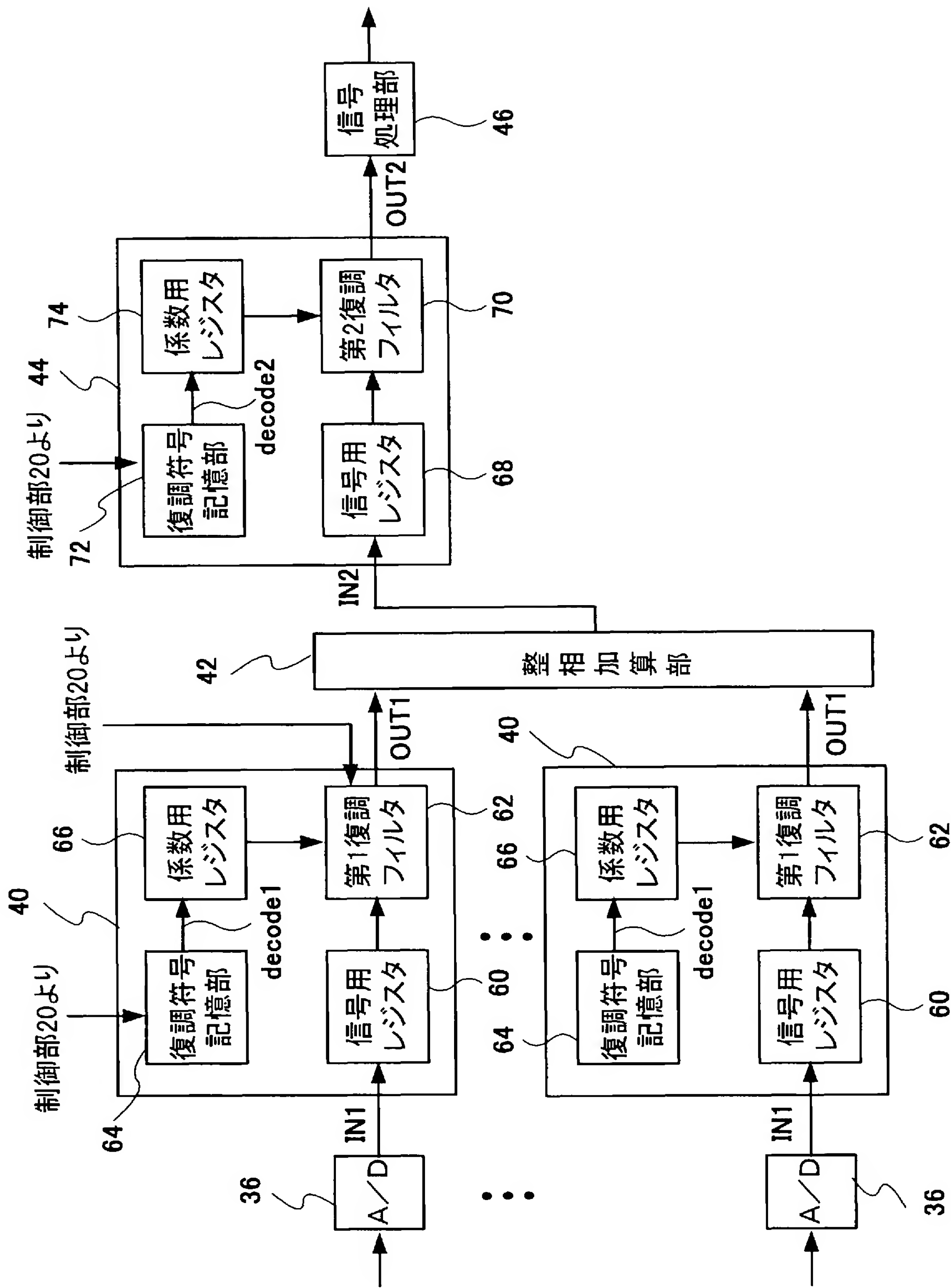
code2=(+1,+1,-1,+1) L2=4



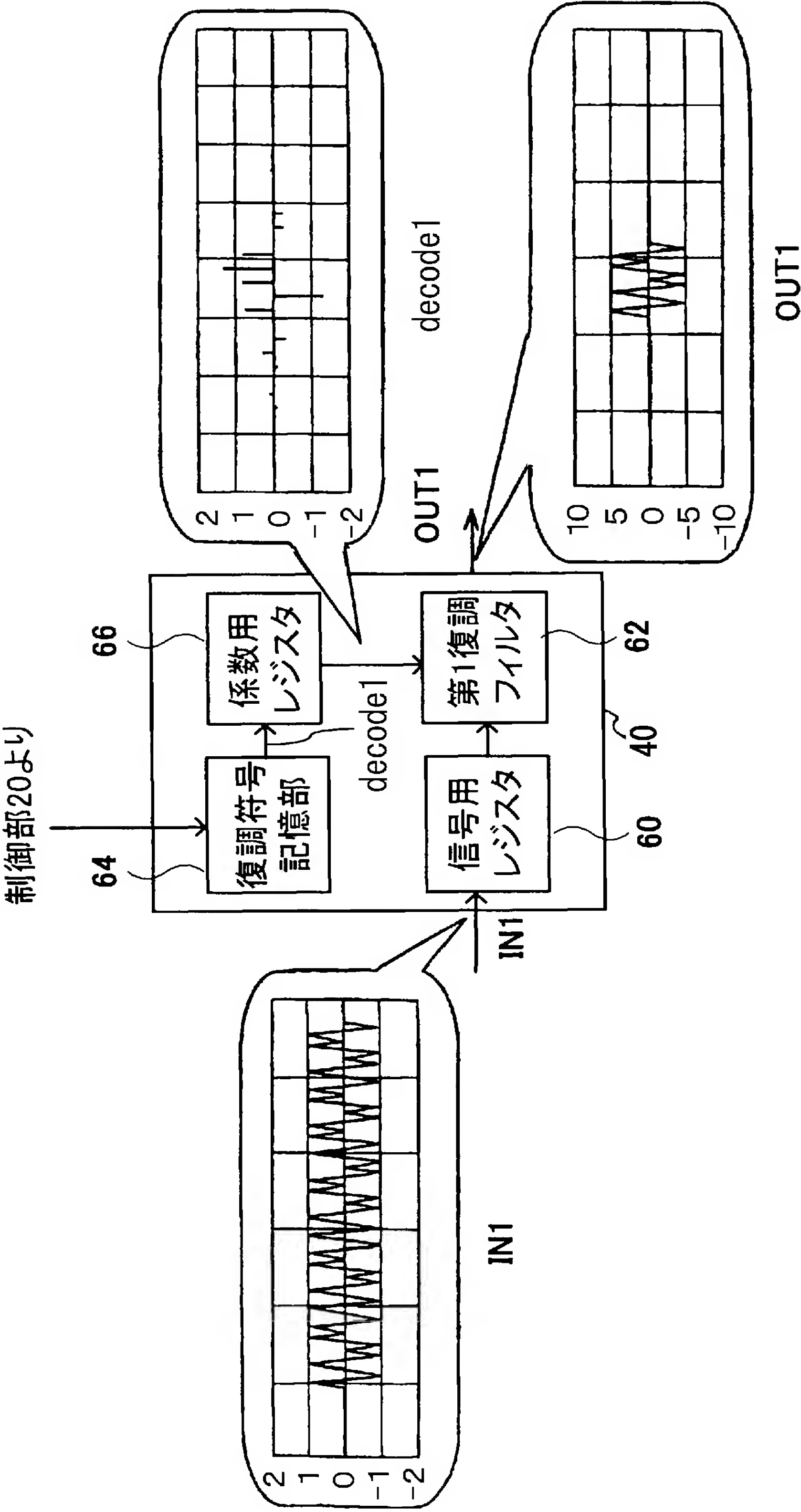
codeX={(+1,+1,-1,+1), (+1,+1,-1,+1), (+1,+1,-1,+1), (-1,-1,+1,-1), (-1,-1,+1,-1), (+1,+1,-1,+1)} Lx=20



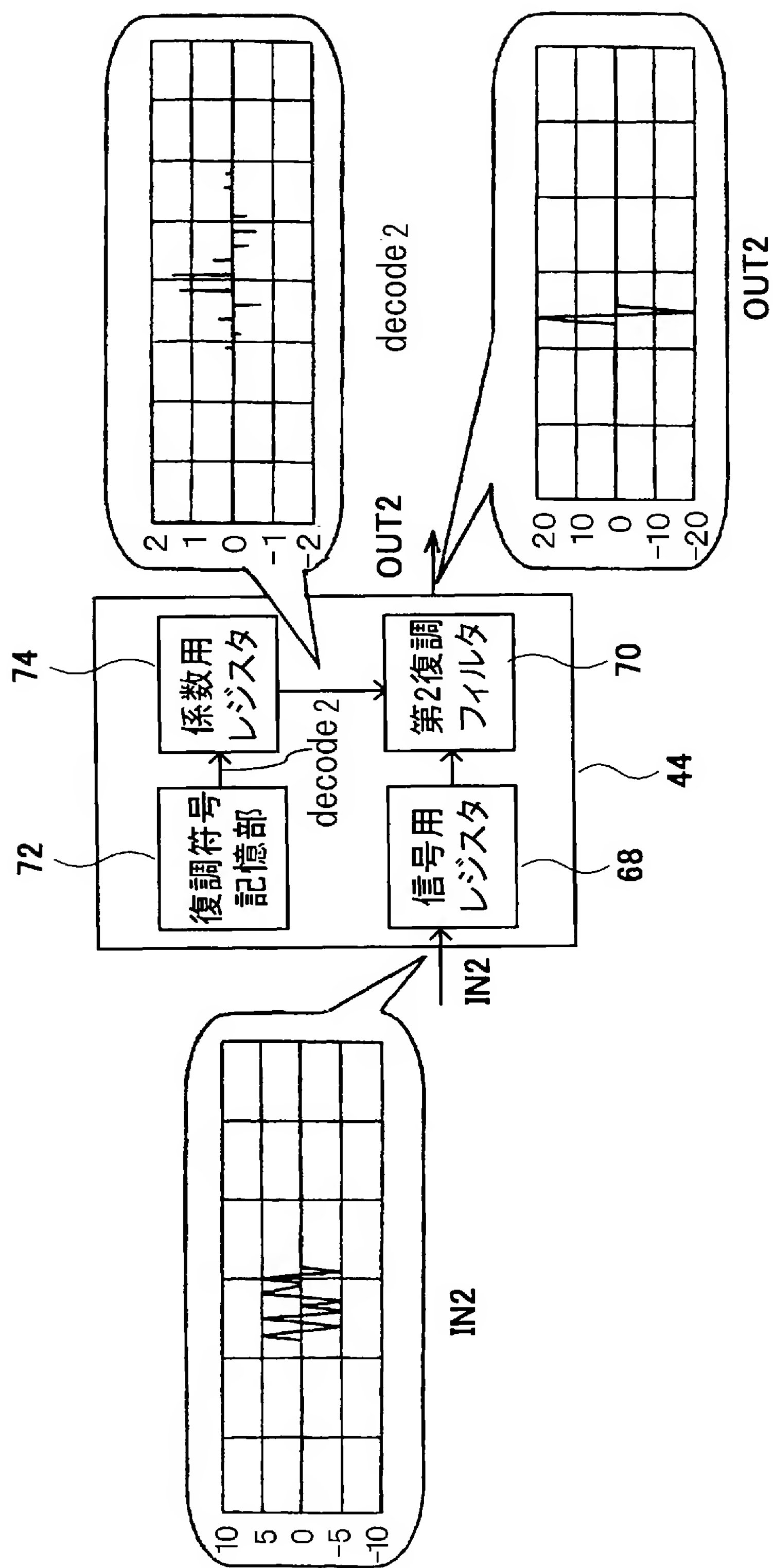
[図4]



[図5]

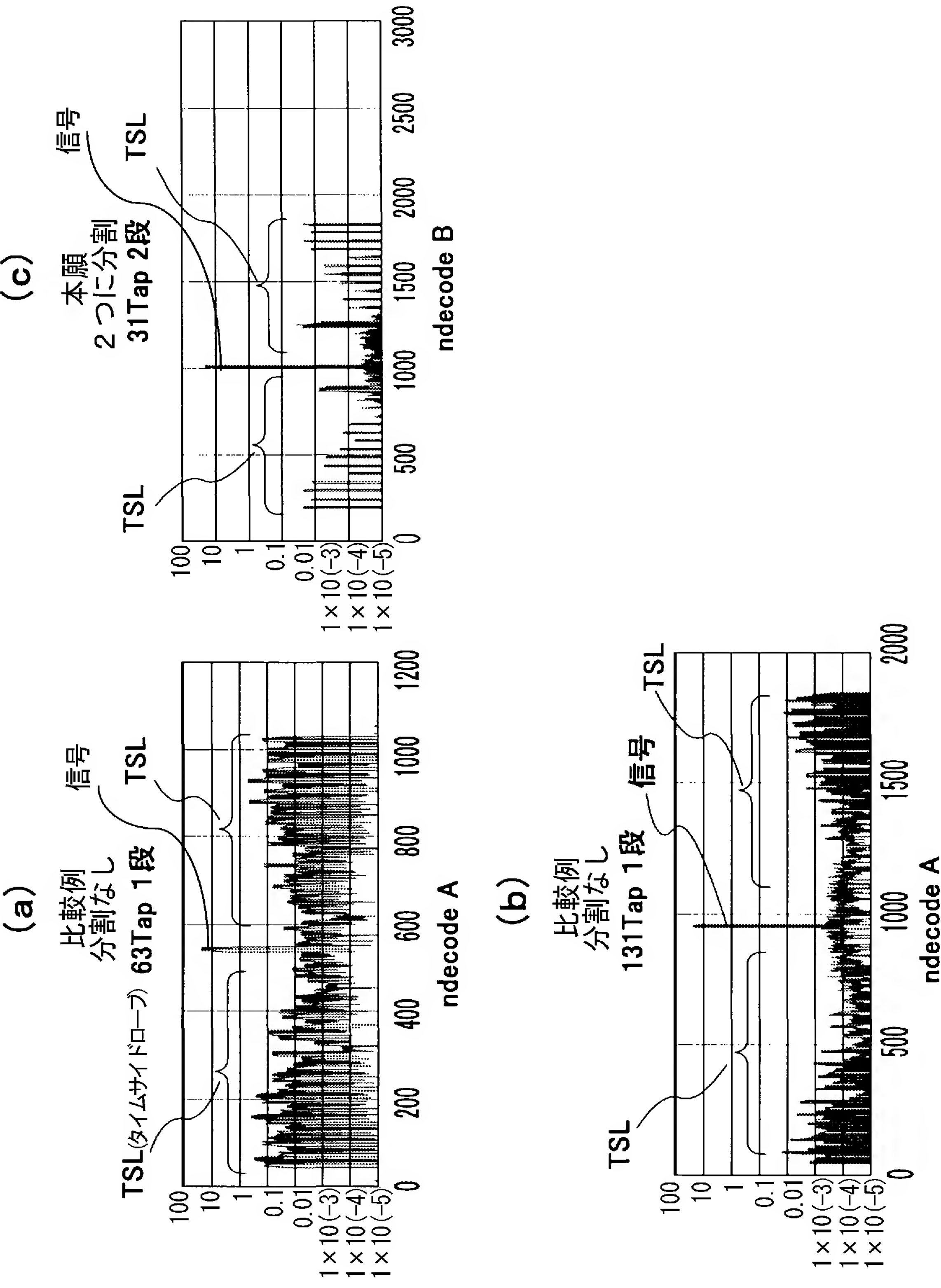


[図6]

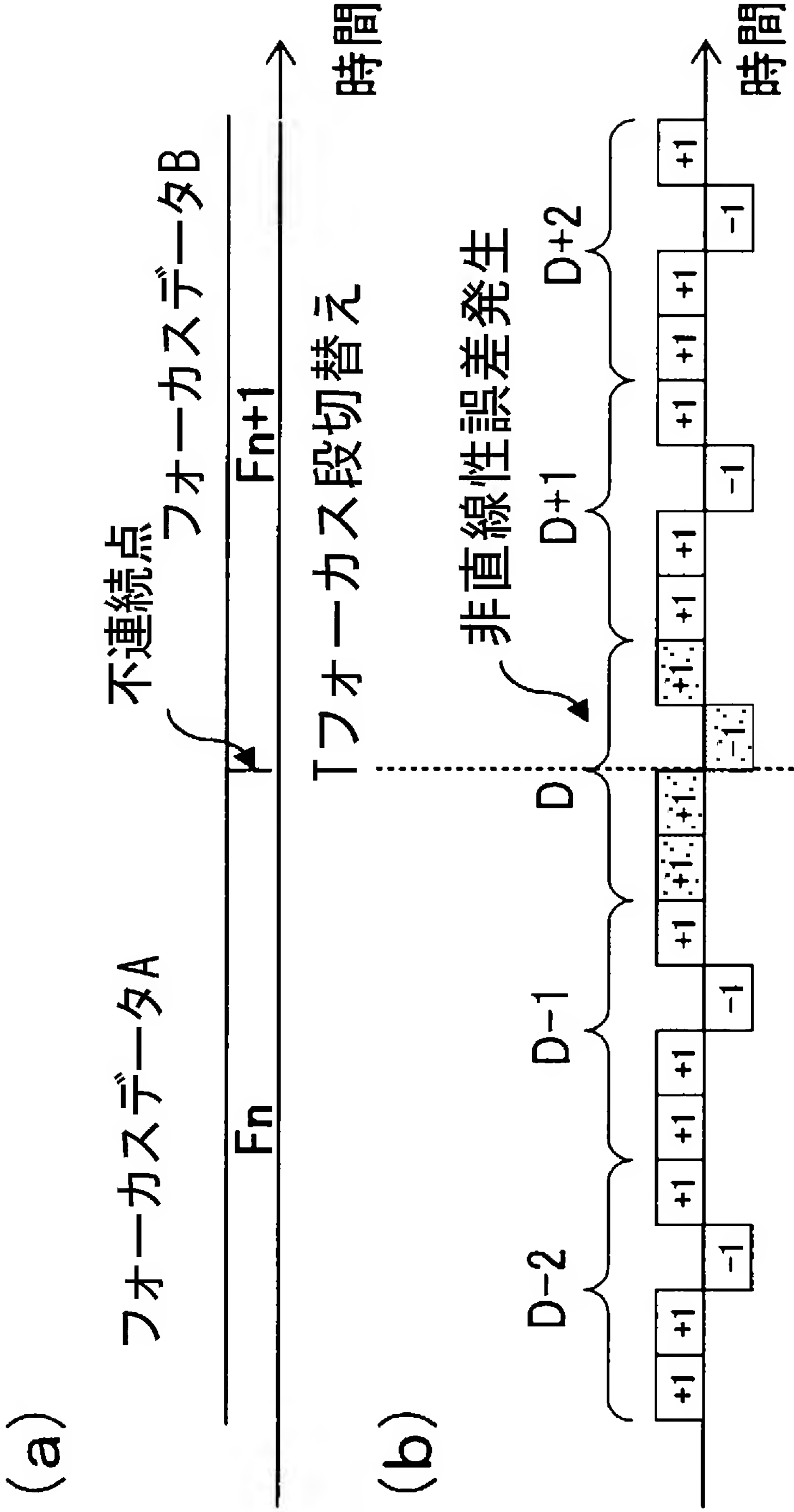




[図7]

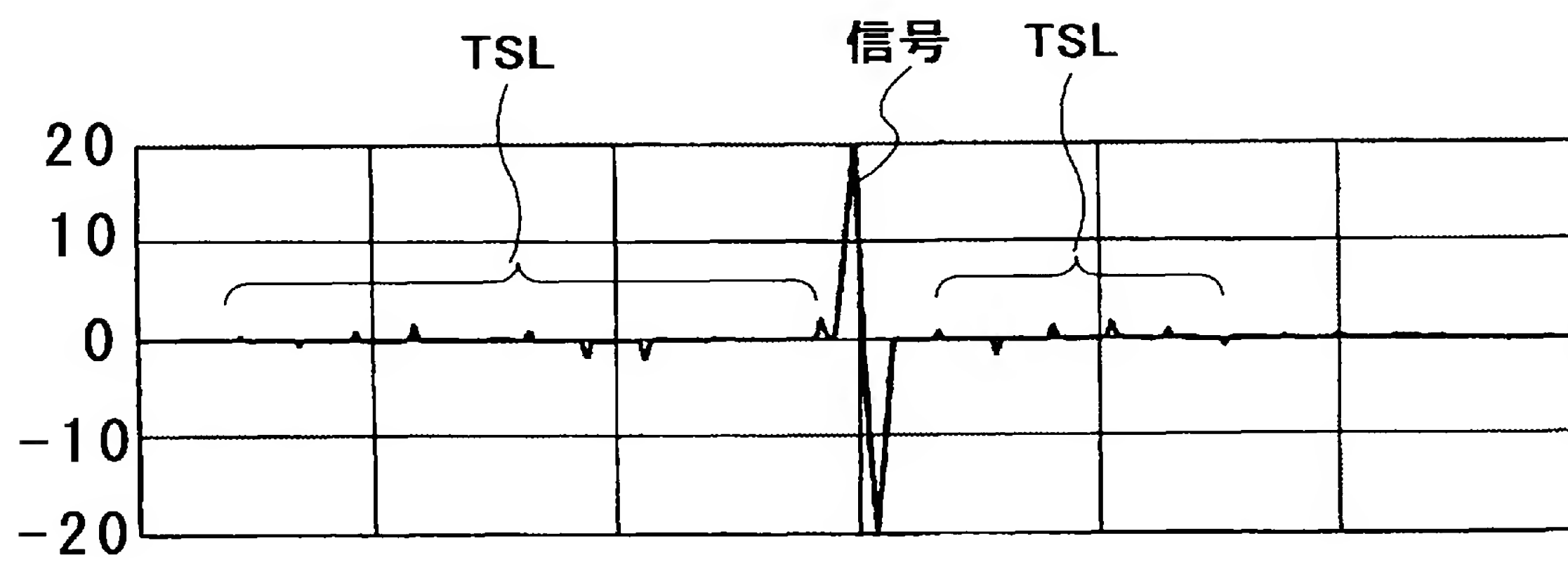


[図8]

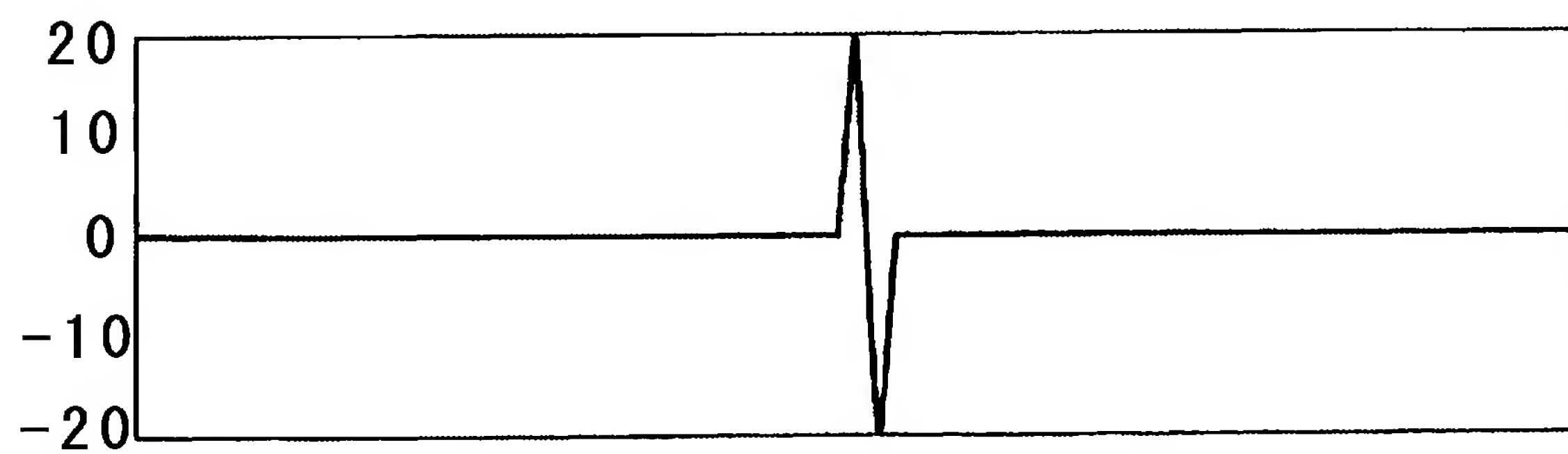


[図9]

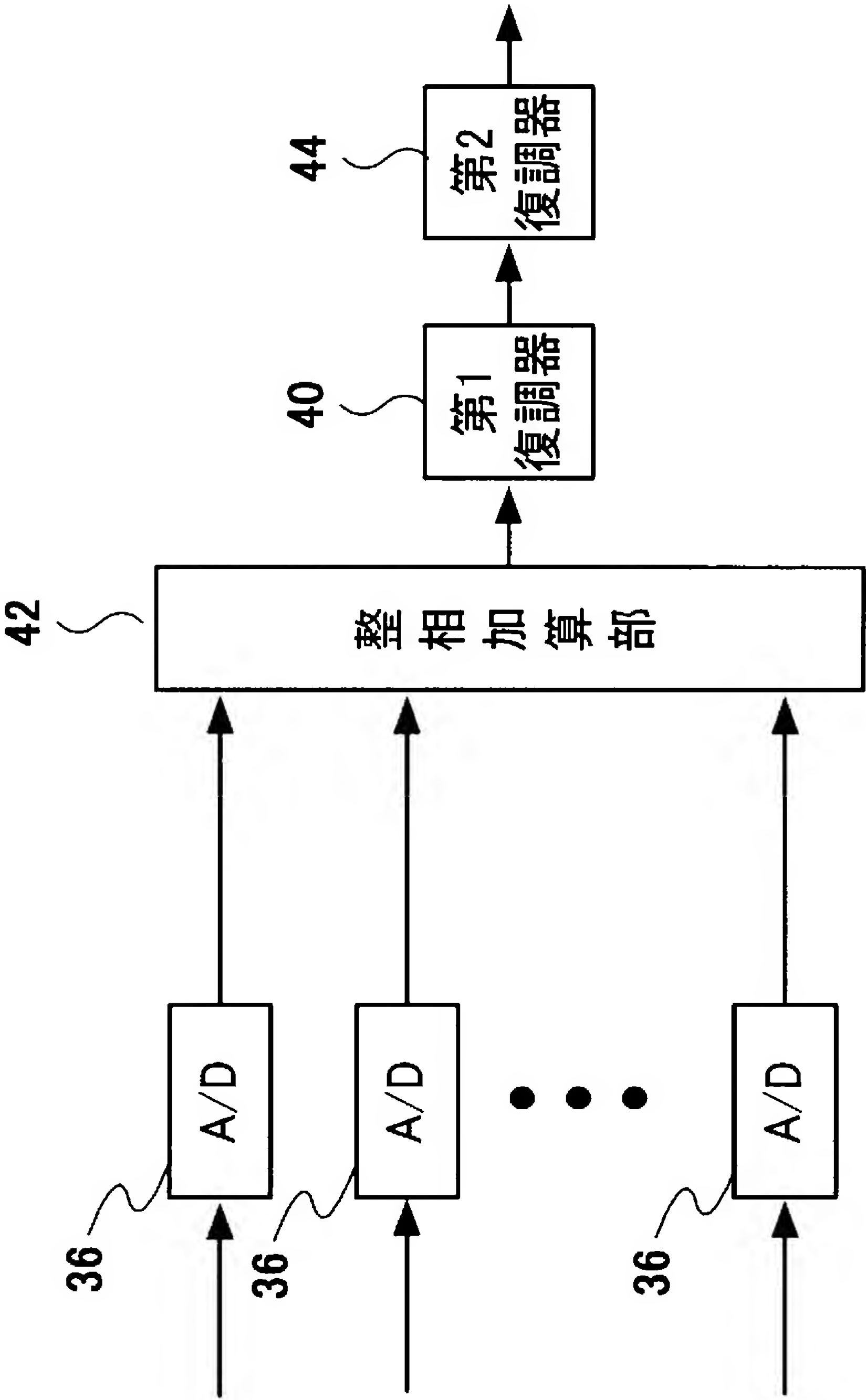
(a)



(b)

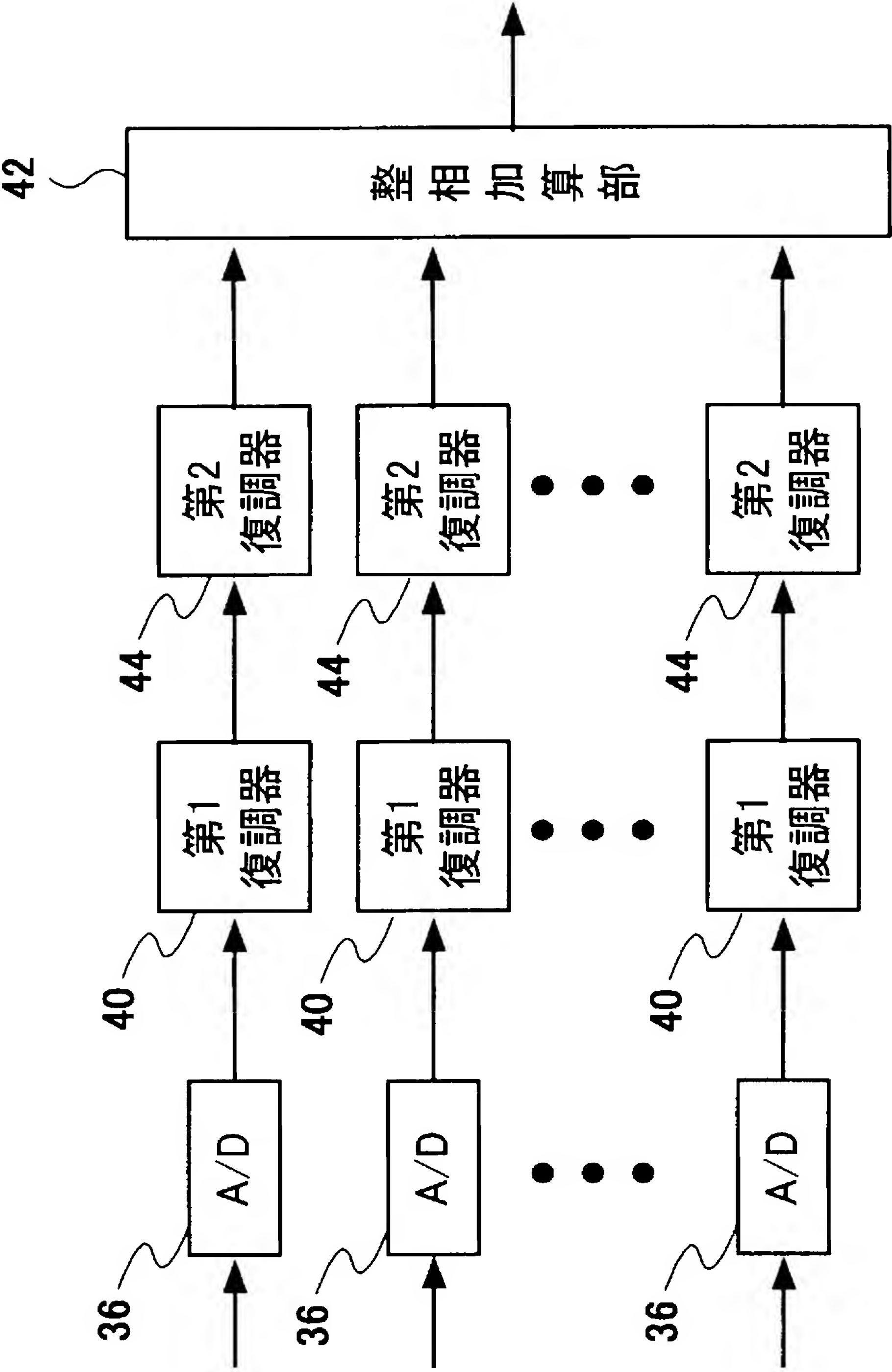


[図10]

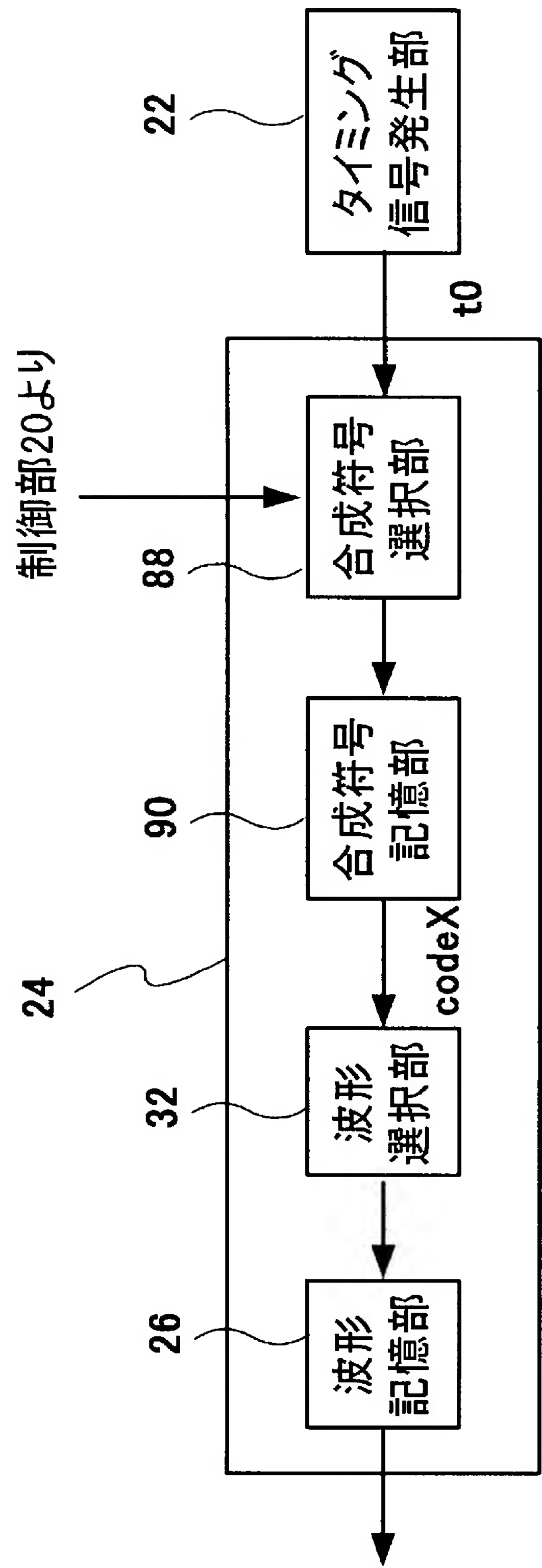




[図11]



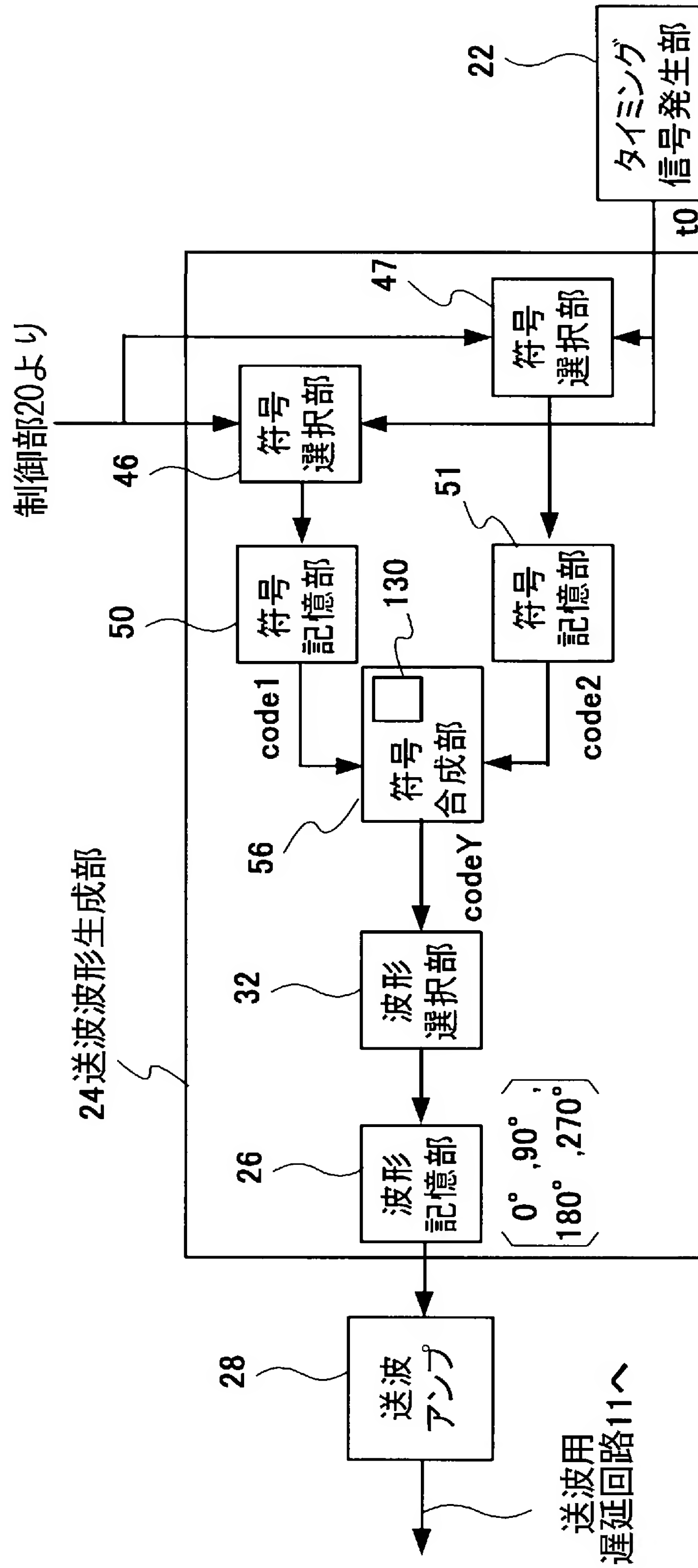
[図12]



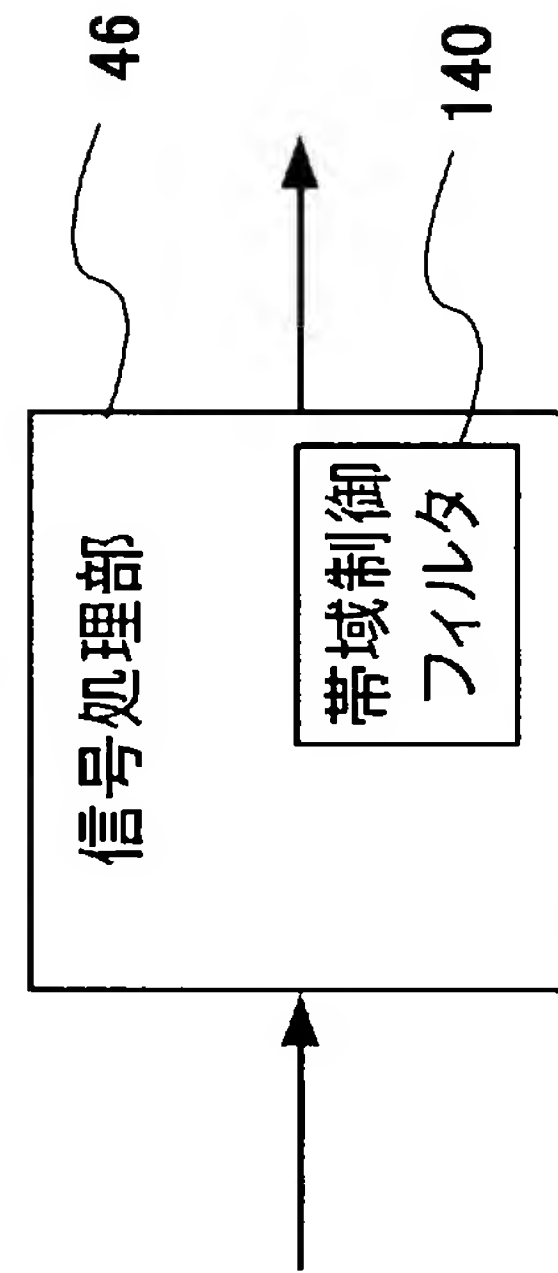
[図13]

12

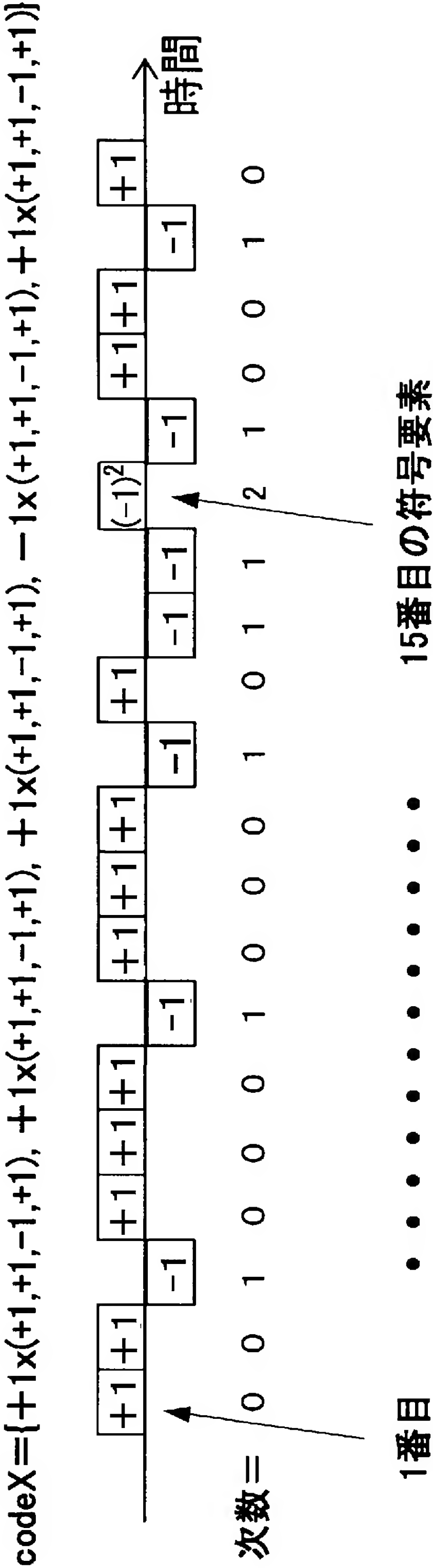
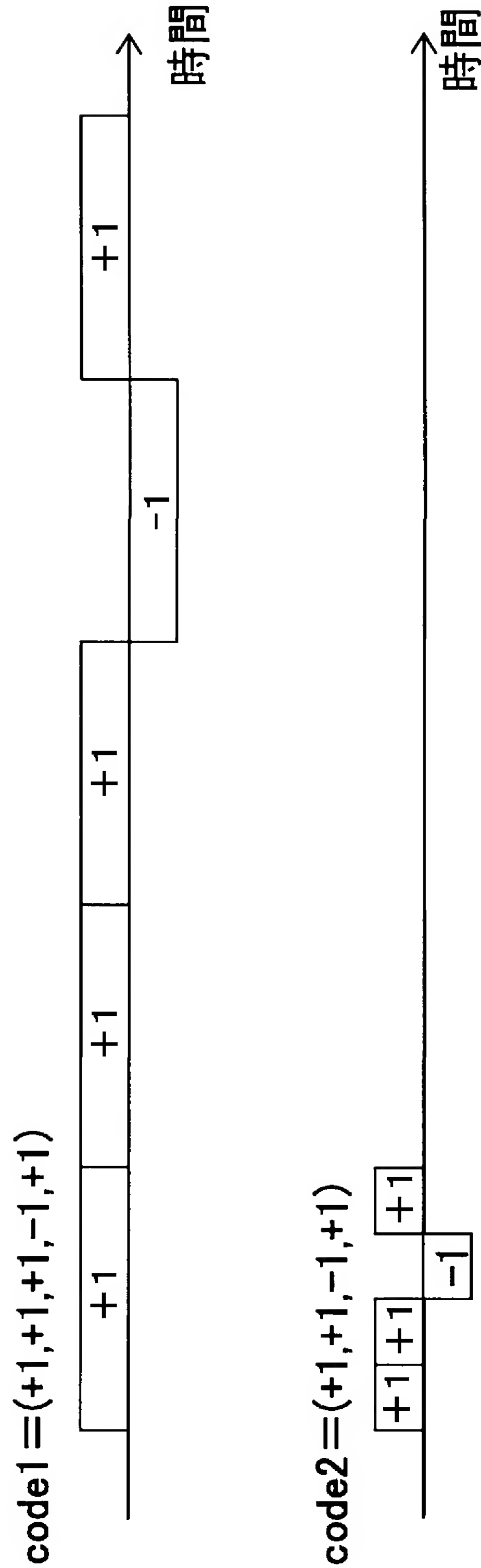
(a)



(b)

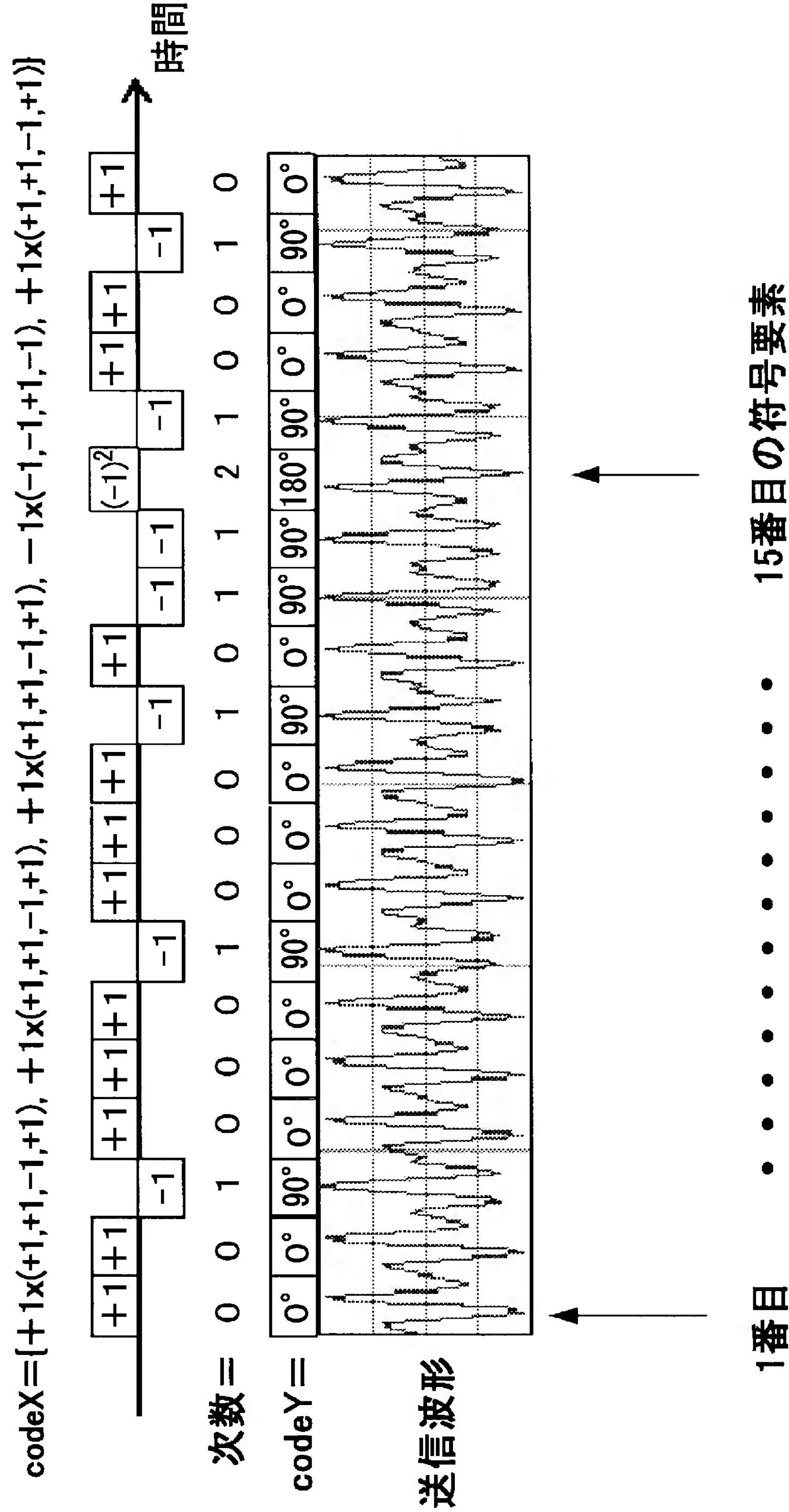


[図14]





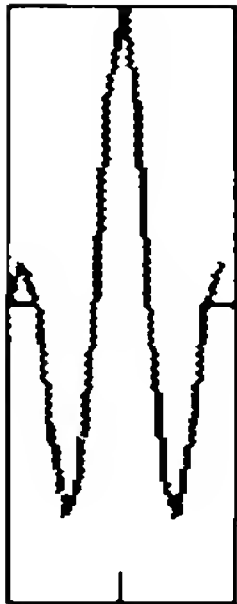
[図15]



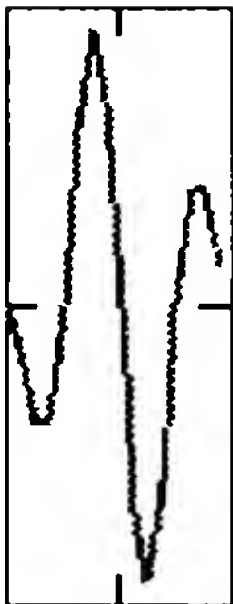
[図16]



基本波0°



90°



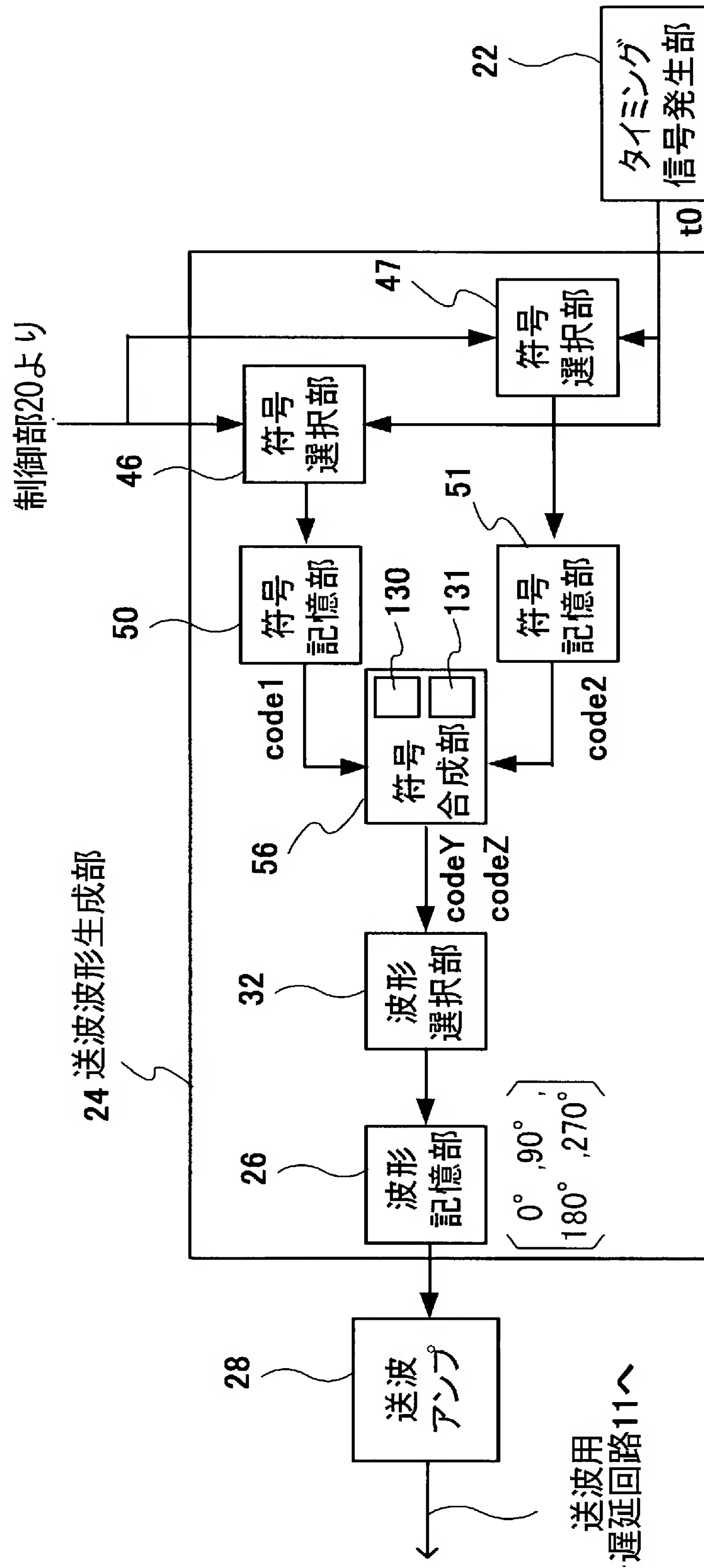
180°



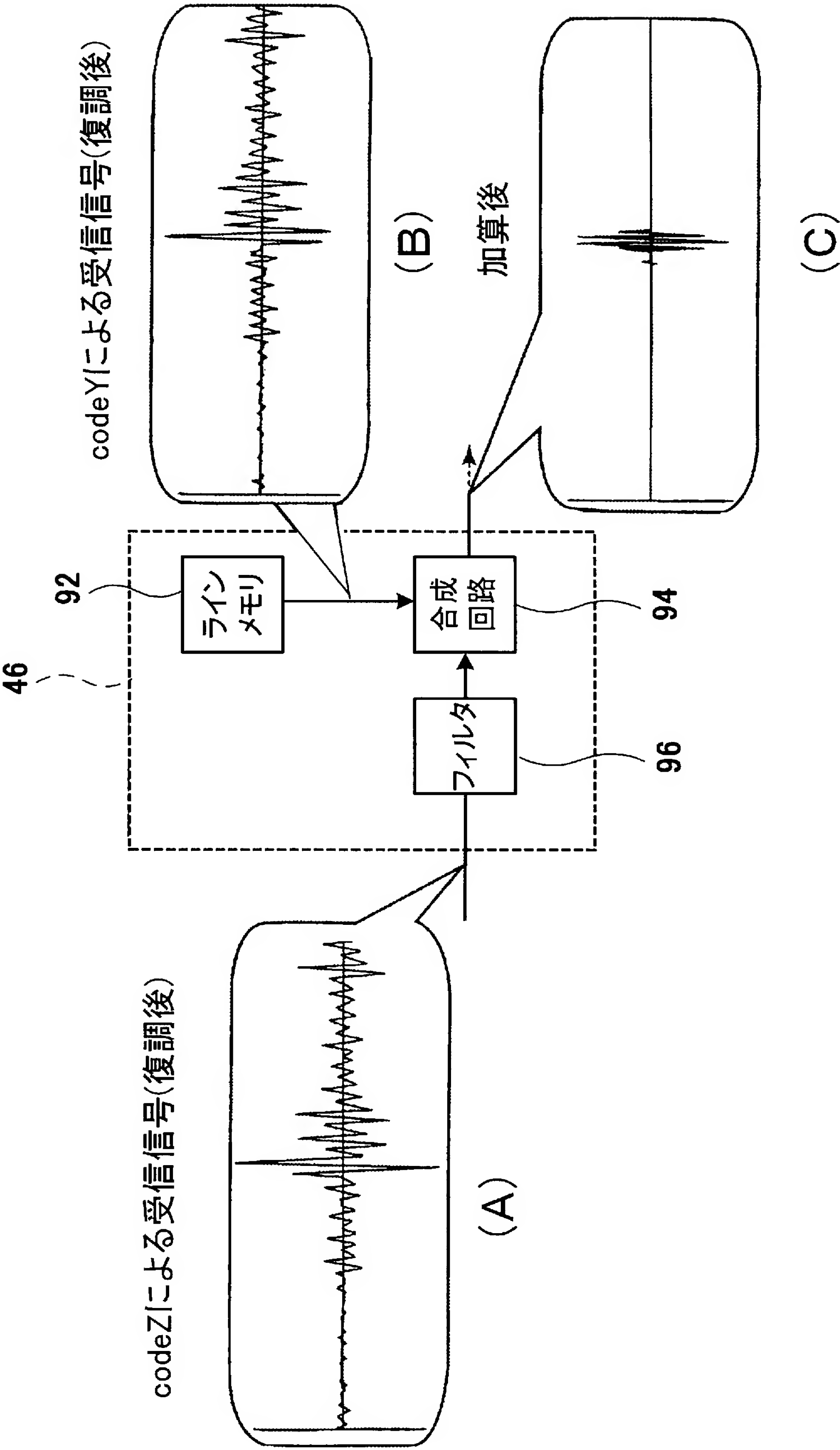
270°

[図17]

12



[図18]



[図]19

codeX={+1x(+1,+1,-1,+1), +1x(+1,+1,-1,+1), +1x(+1,+1,-1,+1), -1x(-1,-1,+1,-1), +1x(+1,+1,-1,+1)}

